

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль 140400 Электрические системы и сети

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП 13.03.02

_____ Шестакова В.В.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование кабельно-воздушной линии электропередачи 220 кВ Нижне-Бурейская ГЭС - Архара

УДК 621.315.23.621.315.1.001.6 (571.61)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5АЗГ1	Ивин Владимир Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент отдела электроэнергетики и электротехники	Носов Г. В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Калмыкова Е.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отдела контроля и диагностики	Амелькович Ю.А.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	К.Т.Н., доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ОК-14), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Уметь формулировать задачи в области <i>релейной защиты и автоматики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-3, ПК-6, ПК-7), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Уметь проектировать <i>противоаварийную автоматику, релейную защиту</i> .	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-8, ПК-9–14), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния релейной защиты и противоаварийной автоматики, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-6, ПК-38–44, ПК-51), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области релейной защиты и противоаварийной автоматики.	Требования ФГОС (ПК-14, ПК-16, ПК-20–21, ПК-37), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Иметь практические знания принципов и технологий релейной защиты и противоаварийной автоматики отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС (ПК-18, ПК-23–28, ПК-30, ПК-37, ПК-45, ПК-46–51), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-10, ОК-14, ПК-14, ПК-20, ПК-28, ПК-29, ПК-31), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для	Требования ФГОС (ОК-2, ОК-11, ОК-12, ОК-15, ПК-1, ПК-10, ПК-

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики</i> .	19, ПК-26), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-3, ОК-7, ПК-32, ПК-34), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-7, ОК-9, ПК-4, ПК-35), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-5, ПК-21, ПК-22, ПК-36), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6, ОК-10, ОК-13, ОК-16, ПК-31, ПК-33), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электрические системы и сети

УТВЕРЖДАЮ:

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
З-5А3Г1	Ивин Владимир Владимирович

Тема работы:

Проектирование кабельно-воздушной линии электропередачи 220 кВ Нижне-Бурейская ГЭС - Архара	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№590/С от 01.02.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Проект КВЛ 220 кВ «Нижне-Бурейская ГЭС - Архара» В качестве исходных данных приняты: <ul style="list-style-type: none">• параметры электрической сети;• мощность нагрузки;• принципиальная схема Амурской ЭЭС;• характеристика местности.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ol style="list-style-type: none">1) Анализ литературы, описание объекта, цели и постановка задач исследования2) Существующее состояние энергоузла3) Механический расчет воздушной линии4) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение5) Социальная ответственность

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема присоединения КВЛ 220 кВ Нижне-Бурейская ГЭС - Архара к электрическим сетям
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Калмыкова Екатерина Юрьевна
Социальная ответственность	Амелькович Юлия Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Не предусмотрено	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры электроэнергетики и электротехники	Носов Г.В.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5АЗГ1	Ивин Владимир Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3Г1	Ивин Владимир Владимирович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электрические системы и сети
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Проект выполняется на базе ТПУ, количество участников проекта – 2 человека.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ГОСТ 14.322-83. ГОСТ Р 51541-99
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 30% от ФОТ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Планирование проектных работ; 2. Смета затрат на проектирование; 3. Затраты на строительство; 4. Экономическая эффективность

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Бюджет проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Г1	Ивин Владимир Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3Г1	Ивин Владимир Вдмирович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Объект раздела: характеристика работ, операций, оборудования, условий выполнения рассматриваемого техпроцесса.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Обеспечение безопасности для выявленных опасных факторов: нормативные требования, которым удовлетворяет принятое к использованию оборудование и инструмент. Технические устройства обеспечения этих требований, ссылки на НТД.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Перечень опасных факторов, вредных факторов при выполнении работ.источником которых является выбранное оборудование и технический процесс.</p> <p>Обеспечение санитарно-гигиенических условий на рабочих местах и обеспечение требований нормативных документов к выявленным вредным факторам. Технические устройства обеспечения этих требований.</p>
<p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаро- и взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Обеспечение безопасности при чрезвычайной ситуации, как наиболее вероятной – пожаре. Категория помещения, средства тушения.</p>

<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	Степень воздействия на окружающую среду.
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	Ссылки на правовые нормы, и нормы организационной защиты

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отдела контроля и диагностики	Амелькович Ю.А.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Г1	Ивин Владимир Владимирович		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электрические системы и сети

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2018

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.03.18	Анализ литературы, описание объекта, цели и постановка задач исследования	25
02.04.18	Существующее состояние энергоузла	15
23.04.18.	Механический расчет воздушной линии	30
21.05.18	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
22.05.18	Социальная ответственность	10
		100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры электроэнергетики и электротехники	Носов Г.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	к.т.н. доцент		

Оглавление

Задание на выполнение ВКР.....	2
Задание для раздела «Финансовый менеджмент, и ресурсосбережение» ресурсоэффективность.....	4
Задание для раздела «Социальная ответственность»	5
Календарный рейтинг – план.....	7
Реферат	10
Обозначения, сокращения, нормативные ссылки.....	12
Введение	13
1.Выбор проводов, расчет механических нагрузок на провода от внешних воздействий.....	14
1.1 Выбор сечения провода.....	14
1.2 Проверка выбранных сечений проводов.....	14
1.3 Определение нагрузок на провода.....	16
2 Выбор климатических условий, изоляторов, построение шаблона.....	23
2.1 Выбор климатических условий для расчета провода на прочность.....	23
2.2 Определение длины габаритного пролета.....	24
2.3.Определение критических длин пролета аналитическим методом.....	28
2.4 Нахождение критической температуры и габаритного пролета.....	29
2.5Выбор марки изоляторов.....	31
2.6Построение шаблона для расстановки промежуточных опор.....	38
2.7Расчет перехода.....	41
2.8 Выбор грозозащитного троса.....	47
3 Определение механических нагрузок на опоры.....	55
3.1 Определение механических нагрузок на промежуточные опоры.....	55
3.2 Определение нагрузок на анкерные опоры.....	57
3.3 Расчет железобетонных грибовидных фундаментов-подножников для промежуточной опоры.....	59
3.4 Расчет железобетонных грибовидных фундаментов-подножников для анкерной опоры.....	63

4 Построение монтажных графиков.....	67
5 Выбор гасителей вибрации для КВЛ 220 кВ Нижне-Бурейская ГЭС-Архара.....	70
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	73
6.1 Количественная оценка научного уровня.....	73
6.2 Планирование выполнения научно-исследовательской работы.....	75
6.3 Определение трудоемкости и разработка графиков проведения научного исследования.....	77
6.4 Смета научно-технического исследования (НТИ).....	82
6.5 Оплата труда.....	83
6.6 Страховые взносы во внебюджетные фонды	84
6.7 Прочие расходы	85
6.8 Накладные расходы.....	86
6.9 Расчёт стоимости НТИ.....	86
6.10 Предварительный расчёт капиталовложений на оборудование и строительно-монтажные работ.....	87
7 Социальная ответственность.....	93
7.2 Анализ вредных и опасных производственных.....	93
7.3 Защита от акустического шума.....	94
7.4 Защита от электромагнитного поля.....	95
7.5 Параметры микроклимата.....	97
7.6 Освещение.....	98
7.7 Защита от поражения электрическим током.....	98
7.8 Экологическая безопасность.....	101
7.9 Чрезвычайные ситуации.....	102
7.10 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	103
Заключение.....	106
Список использованных источников.....	107

Реферат

Данная выпускная квалификационная работа состоит из 108 страниц, 31 таблицы, 22 рисунков.

Основные слова: линия, изолятор, провод, пролет, опора, фундамент, сечение.

Объектом для данного проекта является кабельно-воздушная линия электропередач 220 кВ строительство линии Нижне-Бурейская ГЭС Архара.

Кабельно-воздушная линия электропередачи напряжением 220 кВ "Нижне - Бурейская ГЭС - Архара" проектируется для выдачи мощности построенной Нижне-Бурейской ГЭС. Установленная мощность ГЭС составляет 320 МВт.

КВЛ 220МВт электропередачи проектируется на металлических двухцепных опорах с подвеской провода марки АС400/64. сечение провода для линии было выбрано с учетом возможной передачи всей мощности НижнеБурейской ГЭС в энергосистему даже если будет отключена одна из цепей линии.

Нижне-Бурейская ГЭС располагается у населенного пункта Новобурейский Бурейского района Амурской области. Нижне-Бурейская ГЭС является контррегулятором для более мощной расположенной выше по течению реки Бурейской ГЭС, и должна сглаживать резкие перепады уровня воды в Бурее в результате работы Бурейской ГЭС.

Номинальная мощность ГЭС равна 320 МВт, среднегодовая выработка- 1650 млн кВт/ч.

Электрическая энергия от Нижне-Бурейской ГЭС подается для питания магистрального нефтепровода (МНП) VSTO, Эльгинского угольного месторождения и космодрома Восточный.

Работа Нижне-Бурейской ГЭС сэкономит сжигание около 700 тыс. т. угля в год.

Кроме производства электрической энергии, немало важной функцией будет регулирование уровня воды в реке в следствии неравномерных в

сбросов с Бурейской ГЭС, это позволит снизить вероятность паводков в пойме рек Бурей и Амур. Сильнейшее весеннее наводнение произошедшее в 2013 году было принято во внимание проектировщиками станции и объем резервного водохранилища был увеличен. Нижне-Бурейское водохранилище играет важнейшую роль и в предотвращении весенних затоплений многих населенных пунктов, это даст возможность использовать мощности бурейской ГЭС без опасения вызвать наводнение

При проектировании данной линии:

1. выбрать сечение проводов;
2. выбрать марку и тип изоляторов;
3. рассчитать габаритный пролет и построить шаблон;
4. выбрать марку и тип грозозащитного троса;
5. выбрать марку и тип опор и фундаментов;
6. построение монтажного графика;
7. произвести вычисление технико-экономических показателей проектированной воздушной линии электропередачи

В процессе проектирования были выбраны провода, изоляторы, опоры, фундаменты, в соответствии с требованиями ПУЭ и других НТД при проектировании высоковольтных линий электропередач 220 кВ.

Данный проект выполнен в Microsoft Word 7.0, Microsoft Excel, графическом редакторе Microsoft Visio.

Введение:

Производство и транспортировка электрической энергии одна из самых важных отраслей народного хозяйства и является неотделимой частью жизни деятельности всего человечества.

Строительство линии «Нижне-Бурейская ГЭС- ПС Архара» решит проблему насыщения энергомощностями развивающийся быстрыми темпами дальневосточный регион, позволит подключать такие объекты как космодром "Восточный" и Эльгинское угольное месторождение. Так же позволит загрузить до номинальной мощности Нижне-Бурейскую ГЭС

Кабельно-воздушная линия электропередачи напряжением 220 кВ "Нижне - Бурейская ГЭС - Архара" проектируется для выдачи мощности построенной Нижне-Бурейской ГЭС. Установленная мощность ГЭС составляет 320 МВт.

КВЛ электропередачи проектируется на двухцепных металлических опорах с подвеской провода 400/64. сечение провода выбрано с учетом выдачи всей мощности ГЭС в энергосистему даже при отключенной одной цепи.

В данной дипломной работе будет произведен расчет двухцепной кабель-воздушной линии 220 кВ протяженностью 52,6 км. и максимальной мощностью 320 мВт. Для этого в работе будут выполнены:

- Выбор сечений проводов и их проверка;
- Расчет механической нагрузки на провода;
- Поиск условий по климату для расчетов провод на прочность;
- Расчет габаритного пролета и построение шаблона;
- Выбор марки и типа опор, изоляторов, арматуры, грозозащитного троса, гасителей вибрации;
- Выбор типа и марки фундаментов для установка опор КВЛ и построение монтажных графика

1 Выбор проводов, расчет механических нагрузок на провода от внешних воздействий

1.1 Выбор сечения провода

В проекте линии до 500 кВ включительно сечений проводов выбираются по нормировочным значениям показателей. Для этого применяются нормированные показатели экономической плотности тока [1].

Эксплуатационный ток ВЛ на пятый год в нормальном режиме:

$$I_{(5)} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}} \cdot n_{\text{ц}}} = \frac{320 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 10^3 \cdot 2} = 419 \text{ А} \quad (1)$$

S это величина мощности МВт;

$U_{\text{ном}}$ – величина напряжения КВЛ кВ;

$n_{\text{ц}}$ – число цепей КВЛ.

Расчетный ток ВЛ:

$$I_{\text{расч.}} = I_{(5)} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_T = 419 \cdot 1.05 \cdot 1 = 440,885 \quad (2)$$

где, $I_{(5)}$ – ток ВЛ через пять лет эксплуатации

α_i равно 1,05 коэффициент, для ВЛ 220 кВ

α_T равно 1 коэффициент принимающий во внимание число использования нагрузок, $T_{\text{max}} = 5000$, часов в год, при $K_m = 1$ - участие нагрузки ВЛ в макс. энергетической системы.

Σ сечений проводов ЛЭП:

$$F = \frac{I_{\text{расч.}}}{J_k} = \frac{440,9}{1,1} = 400,8 \text{ А} \quad (3)$$

где, $I_{\text{расч.}}$ – расчетный ток ВЛ

J_k – плотность тока, А / мм², [2].

Получаем $F=400$

1.2 Проверка выбранных сечений проводов

Проверка сечений проводов по нагреву:

$$I_{\text{пров}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n_{\text{ц}}} \cdot \alpha_j \cdot \alpha_T = \frac{320 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 10^3 \cdot 2} \cdot 1,05 \cdot 1 = 400,8 \quad (4)$$

S – мощность МВт;

$U_{\text{ном}}$ – напряжение линии кВ;

$n_{\text{ц}}$ – число цепей ВЛ

$\alpha_j = 1,05$ коэффициент, применяемый для ВЛ 220 кВ;

$\alpha_T = 1$ коэффициент принимающий во внимание наибольшее значение использования нагрузки, при $T_{\text{max}} = 5000$ час в год, при $K_m = 1$ - доля нагрузки ВЛ в максимуме энергосистемы.

$400,8 < 860$ это длительный допустимый ток < проверочного тока;

Произведем проверку провода по мех. условиям прочности:

В двухцепной линии 220кВ необходимо применять провода сечением более или равные 120 мм^2 .

Проверку соответствия выбранных проводов по потерям напряжения в линиях 220 кВ производить не требуется

Проверка проводников на возникновение короны:

По условиям короны сечение провода воздушных линий с напряжением 220 кВ должно быть более чем у провода марки (АС 240/32), марка выбранного провода - АС 400/64 . Условие не нарушаются.

Характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 –Технические характеристики ВЛ

Воздушная линия			Нижне-Бурейская ГЭС-Архара
Нормальное напряжение	$U_{\text{ном}}$	кВ	220
Длина линии	L	Км	52.74
Марка проводов	-	-	АС-400/64
число-воцепей ЛЭП	n	-	2
Наинизшаятемпература	t_{-}	$^{\circ}\text{C}$	-50
Наивысшаятемпература	t_{+}	$^{\circ}\text{C}$	40

Среднегодовая температура	$t_{ср}$	$^{\circ}\text{C}$	0
Т. гололедообразования	$t_{г}$	$^{\circ}\text{C}$	-5
Район погололеду	-	-	3
Район по ветру	-	-	3

1.3 Определение нагрузок на провода

По картам климатического районов и картам региона по скоростному напору ветра и величины стенки гололеда выбираются Климатические условия для проектирования ВЛ. Проектируемая кабельно-воздушная линия 220 кВ проходит по территории, относящейся к третьему району по гололеду [2] и третьему району по ветру [2]. На опорах будут подвешены провода марки АС 400/64

Вычислим нагрузки и напряжения от воздействий окружающей среды.

Из [3] провода марки АС-400/64 имеют характеристики, отображены в таблице 2.

Марка проводов АС-400/64:

АС– провод, из сердечника выполненного из стали и алюминиевых проволок;

400 – сечение части из алюминиевых проволок, мм^2 ;

64 – сечение части провода из стали, мм^2

соотношение сечений алюминиевых проволок к сечению стальных проволок сердечника $m = 6,25$.

Руководствуясь [2], интенсивность внешних воздействий на элементы ВЛ принимают учитывая частоту периодичности гололедных и ветровых нагрузочных воздействий один раз в десять лет на высоте расположения провода ниже 15 м над плоскостью земной поверхности для ветра и 10 м над плоскостью земной поверхности при гололеде.

$W_o = 650 \text{ Па}$ – Воздействие от скоростного потока

$b_o = 20 \text{ мм}$ –толщина гололеда по норме [2]

[2]

Па – скоростной ветровой напор

Таблица 2– Технические показатели провод марки АС-400/6419

Параметры	Проводящая часть	Стальной сердечник	Алюминий и сталь
Сечение, мм ²	389,76	63,52	453,28
Диаметр, мм	22,26	8,99	27,7
вес, кг на км	-	-	1572,0

Механические нагрузки на провод от собственной массы γ_I :

$$P_{II} = M_{II} \cdot g \cdot 10^{-3} = 1572,0 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 15,41 \quad \text{Н/м} \quad (5)$$

где, M_{II} - собственный вес провод, кг на км

g - величина ускорения при свободном падении, М в С²

Поэтому:

$$\gamma_{II} = \frac{P_{II}}{F_A + F_C} = \frac{15,41}{453,28} = 0,034 \text{ Н / м} \cdot \text{мм}^2 \quad (6)$$

Нагрузки на провод при гололедном воздействии на 1 м провода.

Находим нагрузку при гололедном воздействии [2]:

$$P_{2n}^H = \pi \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_{\text{э}} \cdot (d_n + k_i \cdot k_d \cdot b_{\text{э}}) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

где, k_i, k_d - коэффициенты, зависящие изменения толщины стенки

гололеда зависимости от провода и от высоты [2];

$b_{\text{э}} = 20$ мм - толщина гололедной стенки

$d_n = 27,7$ мм диаметр выбранного провода марки АС-400/64

$\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$ - плотность ледяного образования

Чтобы определить коэффициенты k_i, k_d рассчитаем среднюю высоту

центра тяжести провода всех цепей и фаз над землей [2]

$$h_{np} = h_{cp} - \frac{2}{3} \cdot f_{II}, [1];$$

где, h_{cp} - среднеарифметическое величина расстояния от земли до подвески проводов, м.;

f_{II} - стрела провеса провода

В этом этапе h_{cp} найдем через высоту подвески на опоре проводов двух цепей ВЛ

$$h_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{mp}}{n} \quad (8)$$

где , n – количество зон от земной поверхности на площадке установки опоры .

Таблица 3– Характеристики опор П220-2Т.

Шифропоры	П220-2Т
Показатель гололеда, мм	15-20
Маркировка проводов	АС400/64
Длина пролета в м	200-400
сумарная высота в м	41
расстояние до нижней траверсы, м	22,5
Ширина в м	12,8
Масса в т	6,202

Марка опоры П220-2:

П- промежуточная;

220 - напряжение,кВ;

2 - двухцепная;

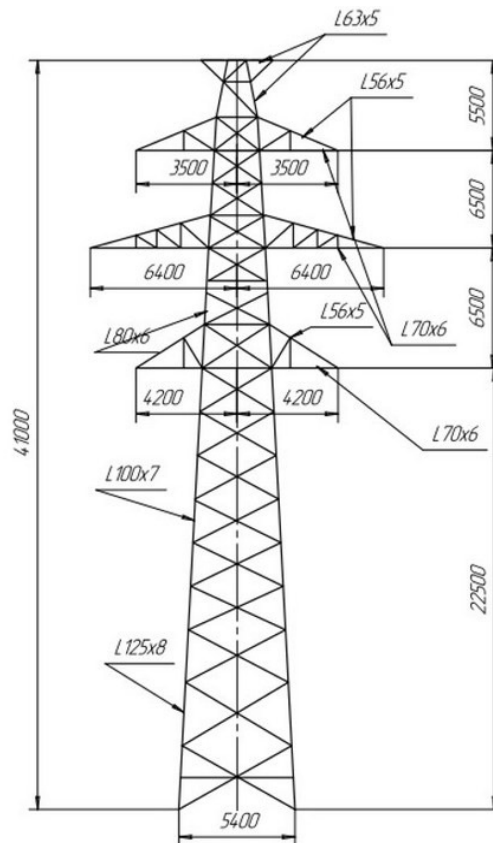


Рисунок 1 –Промежуточная двухцепная опора ВЛ 220 кВ– П220-2.

$$\sum_{i=1}^n H_{mp}^i = H_{mp}^{H.ж.} + H_{mp}^{C.p.} + H_{mp}^{в.} \quad (9)$$

$$h_{cp} = \frac{H_{mp}^{H.ж.} + H_{mp}^{C.p.} + H_{mp}^{в.}}{n}$$

$$h_{cp} = \frac{2250 + 29000 + 35500}{3} = 29000 \text{ мм}$$

Определим стрелу провисания провода.

В предыдущих этапах расчета невозможно найти величину стрелы провисания проводов, как при высшей температуре так и при образовании гололеда без ветра, по этой причине найдем ее при воздействии средних эксплуатационных условий

В соответствии с техническими характеристикам провода [2] АС-400/64, $F_A = 389,76 \text{ мм}^2$ и $F_C = 63,52 \text{ мм}^2$.

$$\text{Соотношение } F_A/F_C = 389,76/63,52 = 6,13$$

Согласно [2] для сталеалюминевых проводов с величиной сечения от 120 мм² и выше при $F_A/F_C = 6$, $\sigma_{cp} = 90 \text{ Н/мм}^2$

Средние эксплуатационные условия при работе проводов охарактеризовываются $\gamma_{\pi} = 0,034 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$

Согласно данным провод подвешен на опорах П220-2, $l = 200-400 \text{ м}$ при вычислениях $l = 300 \text{ м}$.

$$f = \frac{\gamma_{\pi} \cdot l^2}{8 \times \sigma} = \frac{0.034 \times 300^2}{8 \times 90} = 4,25 \quad (10)$$

$$h_{\text{пр}} = 29 - \frac{2}{3} \times 4,25 = 26,2 \text{ м}, \quad (11)$$

Для приведенного центра тяжести расположения проводов или тросов свыше 25 м применяются поправки на толщину гололедных образований на грозозащитном тросе и проводе в зависимости от высоты и диаметра проводов и тросов. Следовательно $K_i = 1,4$, $k_d = 0,9$

$$P_{\text{гн}} = P_{\text{гн}}^H \cdot \gamma_{\text{нг}} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \cdot \gamma_d \quad (12)$$

из величины нормативной нагрузки вычислим расчетную [2]

$$P_{\text{гн}}^H = 3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,9 \cdot 20 \cdot (27,7 + 1,4 \cdot 0,9 \cdot 20) \cdot 0,9 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 36,92 \text{ Н}$$

где, $\gamma_{\text{нг}} = 1$ - коэффициент надежности по ответственности [2];

$\gamma_p = 1$ - коэффициент региона [2];

$\gamma_f = 1,6$ - коэффициент надежности по нагрузке от гололедной [2];

$\gamma_d = 0,5$ - коэффициент условий работы [2];

$$P_{\text{гн}} = 36,92 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 0,5 = 29,54 \text{ Н/м} \quad (14)$$

Найдем удельную гололедную нагрузку

$$\gamma_{\text{гн}} = \frac{P_{\text{гн}}}{F_A + F_C} = \frac{29,54}{453,28} = 0,065 \text{ Н/мм}^2 \quad (15)$$

расчет суммарной нагрузки от веса провода при гололеде.

$$P_{\Sigma 1} = P_n + P_{\text{гн}} = 15,41 + 29,54 = 44,95 \text{ Н/м} \quad (17)$$

$$\gamma_{\Sigma 1} = \gamma_n + \gamma_{gn} = 0,034 + 0,065 = 0,099 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2 \quad (17)$$

Расчет нагрузки от ветра, действующей на 1м провода без учета воздействия гололедных образований.

$$P_{wn}^H = a_w \cdot k_i \cdot k_w \cdot C_x \cdot W_0 \cdot F \cdot \sin^2 \varphi [2]$$

$\alpha_w = 0,7$ - коэффициент, неравномерности давления ветра по пролету линии;

$k_l = 1$ - коэффициент, влияющий на ветровую нагрузку в зависимости от длины пролета [1];

$k_w = 1$ - коэффициент, ветрового давления учитывающий изменение высоты в зависимости от местности [2]

$C_x = 1,2$ - коэффициент сопротивления лобового, для троса и провода, без гололеда, с диаметром проводника более 20 мм [2]

$W = 650 \text{ Па}$ - значение нормативного давления ветра;

$F = 27,7 \text{ мм}^2$ - значение полной площади продольного сечения проводника;

$\varphi = 90^\circ$ - значение угла между осью линии и направлением ветра.

$$P_{wn}^H = 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 650 \cdot 27,7 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 15,124 \text{ Н/м}$$

учитывая нормативную нагрузку от воздействия ветра определим расчетную [2]

$$P_{wn} = P_{wn}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \quad (18)$$

где;

$\gamma_{nw} = 1$ - коэффициент ответственности по надежности;

$\gamma_p = 1$ - коэффициент региона;

$\gamma_f = 1,1$ - Значение коэффициента надежности при ветровой нагрузке.

$$P_{wn} = 15,124 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 16,653 \text{ Н/м}$$

определяем удельную нагрузку от ветра:

$$\gamma_{wn} = \frac{P_{wn}}{F_A + F_C} = \frac{16,653}{453,28} = 0,037 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2 \quad (20)$$

рассчитаем мех.нагрузки от ветра, которая воздействует на 1м провода при образовании гололеда.

$$P_{wnz}^H = \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot 0,25 \cdot W \cdot F \cdot \sin^2 \varphi \quad (21)$$

При $W_{wr} = 0,25 \cdot 650 = 165,5 \text{ Па}$, $\alpha_w = 0.7$ [3]

k_l, k_w - аналогично пункту 4.

$C_x = 1,2$ - Значение коэффициента лобового сопротивления, для проводов и тросов всех фаз двух цепей, с гололедным образованием

$$F = (d_n + 2 K_i \cdot K_d \cdot b_y) \cdot 10^{-3} \quad (22)$$

где,

$K_i = K_d = 1$ - как в пункте 2.

$d_n = 27,7 \text{ мм}$ - диаметры проводов и тросов

b_y - толщина ледяного образования на проводе, мм [3].

$$d_y = d_3 = 20 \text{ мм}$$

$$F = (27,7 + (2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20)) \cdot 10^{-3} = 0,067 \text{ м}$$

$$P_{wn}^H = 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 165,5 \cdot 0,067 = 9,31 \text{ Н/м}$$

учитывая значение нормативной ветровой нагрузки с гололедом определим расчетное значение

$$P_{wnz} = P_{wnz}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \quad (23)$$

где,

$\gamma_{nw}, \gamma_p, \gamma_f$ - пункт 4

$$P_{wnz} = 9,31 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 10,24 \text{ Н/м}$$

Вычислим удельную ветровую нагрузку при образовании гололеда

$$\gamma_{wnz} = \frac{P_{wnz}}{F_A + F_C} = \frac{10,24}{453,28} = 0,023 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2 \quad (24)$$

Суммарная сила воздействия на провода от давления ветра на провод.

$$P_{\Sigma 2} = \sqrt{P_n^2 + P_{wn}^2} = \sqrt{15,41^2 + 16,65^2} = 22,87 \text{ Н/м} \quad (25)$$

Найдем удельную нагрузку суммарную

$$\gamma_{\Sigma 2} = \frac{P_{\Sigma 2}}{F_A + F_C} = \frac{22,87}{453,28} = 0,050 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2 \quad (26)$$

Результирующая нагрузка действующая на провода с гололедом от ветра.

$$P_{\Sigma 3} = \sqrt{P_{\Sigma 2}^2 + P_{wn2}^2} = \sqrt{22,87^2 + 44,95^2} = 50,43 \text{ Н/м} \quad (27)$$

Удельная нагрузка равна

$$\gamma_{\Sigma 3} = \frac{P_{\Sigma 3}}{F_A + F_C} = \frac{50,43}{453,28} = 0,111 \text{ Н / м} \cdot \text{мм}^2 \quad (28)$$

Из полученных расчетных данных видно что наибольшей воздействие на провод гололедом, оказывается давлением ветра, то есть $\gamma_{\text{НВ}} = \gamma_{\Sigma 3} = 0,111 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$

2 Выбор климатических условий, изоляторов, построение шаблона

2.1 Выбор климатических условий для расчета провода на прочность

Согласно источника [2] расчет тросов и проводов производится по методу допускаемых напряжений. При расчетах этим методом необходимым критерием будет являться работа проводов в пределах значений упругости его материала, т.е. в том случае когда сторонние силы (нагрузки) приводят к вызову в проводе только упругих деформаций. В этом случае появляющиеся в проводе напряжения будут пропорциональны величине посторонней силы растягивающей материал и продольным деформациям.

Растягивающие силы в проводе могут изменяться и в зависимости от изменения температуры воздуха, и в зависимости от перемены нагрузки на провод. При изменении растягивающего усилия в нем, меняется и напряжение « σ ».

Для ВЛ 220 кВ, проходящей в районах со среднегодовой температурой $t_{сг} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, температурой гололедообразования $t_{г} = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и наинизшей температурой $t_{-} = -50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, определяем [2]:

температурный коэффициент расширения провода (α);

модуль упругости продольной (E);

допустимое напряжение, рассчитанное для значений $t_{сг}$, $t_{г}$ и t_{-} ($\sigma_{сг}, \sigma_{г}, \sigma_{-}$);

Длину критических пролетов (l_{IK}, l_{2K}, l_{3K}).

Кроме этого, нужно выбрать определяющие условия по климату для определения провода на прочность.

2.2 Определение длины габаритного пролета

При построении графиков изменения напряжения от расстояния пролета следует составить и решить уравнение состояния провода.

Уравнение состояния провода для вычисления среднеэксплуатационных напряжений, с учетом большей механической нагрузки, имеет вид (29):

$$\sigma_{сэ} - \frac{\gamma_{п}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{сэ}^2} = \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сг} - t_{г}). \quad (29)$$

Уравнение (2.13) можно представить как неполное кубическое, умножив все переменные данного уравнения на $\sigma_{сэ}^2$ (2.14):

$$\sigma_{сэ}^3 - A \cdot \sigma_{сэ}^2 - B = 0, \quad (30)$$

$$\text{где } A = \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сг} - t_{г});$$

$$B = \frac{\gamma_{п}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24}.$$

Определим изменение среднеэксплуатационного механического напряжения в проводе при удлинении величины пролета и появления наибольшей удельной нагрузки. Рассмотрим несколько предельных случаев увеличения длины пролета от 0 до ∞ :

1) когда l стремиться к 0, в этом случае уравнение состояния (28) будет иметь форму (31):

$$\sigma_{сэ1}^{(1)} = \sigma_{нб} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сг} - t_{г}). \quad (31)$$

после подставления значений в (31) находим:

$$\sigma_{сэ1}^{(1)} = 135 - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot [0 - (-5)] = 127,08 \text{ Н/мм}^2.$$

2) если l стремиться к бесконечности, в этом случае при делении всех членов уравнения (28) на l^2 уравнение состояния будет иметь вид (32):

$$\sigma_{сэ2}^{(1)} = \frac{\gamma_{п}}{\gamma_{нб}} \cdot \sigma_{нб} \quad (32)$$

После подстановке значений в (2.16) находим искомое значение:

$$\sigma_{сэ2}^{(1)} = \frac{0,034}{0,110} \cdot 135 = 41,73 \text{ Н/мм}^2.$$

В результате возникновения максимума нагрузки среднеэксплуатационное механические напряжения в проводах переменяется от 127,08 до 41,73 Н/мм².

Значение коэффициентов А и В на основании формулы (29) равны:

$$A = 135 - \frac{0,110^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_i^2}{24 \cdot 135^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot [0 - (-5)] = 127,08 - 0,0023 \cdot l_i^2;$$

$$B = \frac{0,034^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_i^2}{24} = 3,97 \cdot l_i^2.$$

Вычислим значение А и В, а также среднеэксплуатационное механическое напряжение при длинах пролетов от 0 до 400 м. произведем решение неполного кубического уравнения (29) при помощи метода Ньютона, применяя формулу (33):

$$\sigma_{к+1} = \sigma_{к} - \frac{\sigma_{к}^3 - A \cdot \sigma_{к}^2 - B}{3 \cdot \sigma_{к}^2 - 2 \cdot A \cdot \sigma_{к}} = \frac{\sigma_{к}^2 \cdot (2 \cdot \sigma_{к} - A) - B}{\sigma_{к} \cdot (3 \cdot \sigma_{к} - 2 \cdot A)}. \quad (33)$$

Полученные результаты расчетов механического напряжения при различных длинах пролетов приведены в таблице.

Исследуем следующий пример изменений среднеэксплуатационного механического напряжение в проводе в случае изменения значения длин пролетов от воздействия наименьших температур окружающего воздуха

Вид уравнения состояния проводов линии при вычислении среднеэксплуатационных напряжений

$$\sigma_{сэ} - \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot E \cdot l_1^2}{24 \cdot \sigma_{сэ}^2} = \sigma_- - \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot E \cdot l_1^2}{24 \cdot \sigma_-^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сг} - t_-). \quad (34)$$

Также как и в предыдущем случае, сравним два предельных прицидента изменения величины пролета от 0 до бесконечности:

1) l стремиться к 0, тогда уравнение состояния примет вид (35):

$$\sigma_{сэ1}^{(2)} = \sigma_- - \alpha \cdot E \cdot (t_{сг} - t_-). \quad (35)$$

При подстановке численных значений в (35) получаем:

$$\sigma_{сэ1}^{(2)} = 135 - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot [0 - (-50)] = 55,8 \text{ Н/мм}^2.$$

2) l стремиться к ∞ , тогда при делении всех членов уравнения (2.34) на l^2 уравнение состояния примет вид (2.20):

$$\sigma_{сэ2}^{(2)} = \frac{\gamma_{\Pi}}{\gamma_{\Pi}} \cdot \sigma_- . \quad (35)$$

При подстановке численных значений в (35) получаем:

$$\sigma_{сэ2}^{(2)} = \frac{0,034}{0,034} \cdot 135 = 135 \text{ Н/мм}^2.$$

В этом случае, среднее эксплуатационное механическое напряжение в стали-алюминиевом проводе при воздействии наименьшей температуры окружающей среды будет изменяться от 55,8 до 135 Н/мм².

Значение коэффициентов А и В на основании формулы (28) равны:

$$\begin{aligned} A &= \sigma_- - \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot E \cdot l_1^2}{24 \cdot \sigma_-^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сг} - t_-) = \\ &= 135 - \frac{0,034^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_1^2}{24 \cdot 135^2} - 19,6 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot [0 - (-50)] = \\ &= 54,15 - 0,00022 \cdot l_1^2; \\ B &= \frac{0,034^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_1^2}{24} = 3,97 \cdot l_1^2. \end{aligned}$$

Аналогичным образом, как и для первого случая, вычислим значение А и В, а также среднеэксплуатационное механическое напряжение при длинах пролетов от 0 до 400 м

На основании приложений Г и Д построим график изменения механического напряжения от длины пролета (рисунок 2.1).

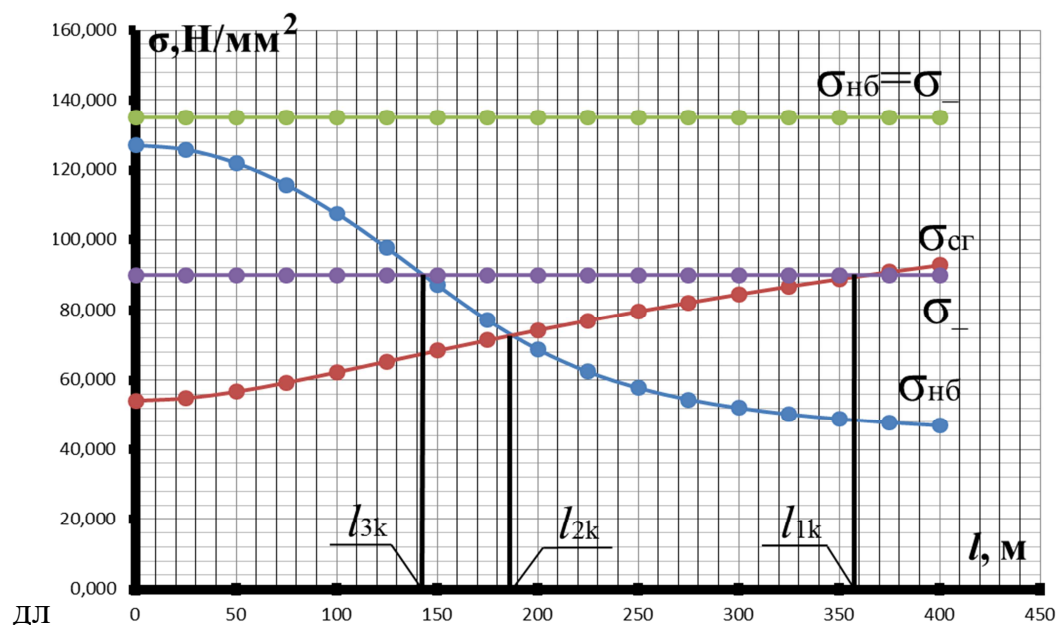


Рисунок 2.1 – Зависимости изменения механического напряжения от длины пролета

На графике можно выделить три точки пересечения кривых. Данные точки соответствуют трем критическим пролетам и их значения приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3–Расстояние критического пролета

Критический пролет	Расстояние, м
Первый, $l_{1к}$	354,31
Второй, $l_{2к}$	185,89
Третий, $l_{3к}$	143,91

2.3 Определение критических длин пролета аналитическим методом

Вычислим расстояние критических пролетов аналитическим способом, используя формулы (36-38):

$$l_{1к} = 4,9 \cdot \frac{\sigma_-}{\gamma_{\Pi}} \cdot \sqrt{\frac{(\sigma_- - \sigma_{сэ}) + \alpha \cdot E \cdot (t_- - t_{сэ})}{E \cdot \left[1 - \left(\frac{\sigma_-}{\sigma_{сэ}} \right)^2 \right]}}, \quad (36)$$

$$l_{2к} = 4,9 \cdot \frac{\sigma_{нб}}{\gamma_{\Pi}} \cdot \sqrt{\frac{\alpha \cdot (t_{\Gamma} - t_-)}{\left(\frac{\gamma_{нб}}{\gamma_{\Pi}} \right)^2 - 1}}, \quad (37)$$

$$l_{3к} = 4,9 \cdot \frac{\sigma_{нб}}{\gamma_{\Pi}} \cdot \sqrt{\frac{(\sigma_{нб} - \sigma_{сэ}) + \alpha \cdot E \cdot (t_{\Gamma} - t_{сэ})}{E \cdot \left[\left(\frac{\gamma_{нб}}{\gamma_{\Pi}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{нб}}{\sigma_{сэ}} \right)^2 \right]}}. \quad (38)$$

Первый критический пролет:

$$l_{1к} = 4,9 \cdot \frac{135}{0,034} \cdot \sqrt{\frac{(135 - 90) + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot [-50 - 0]}{8,25 \cdot 10^4 \cdot \left[1 - \left(\frac{135}{90} \right)^2 \right]}} = 354,31 \text{ м.}$$

Второй критический пролет:

$$l_{2к} = 4,9 \cdot \frac{135}{0,034} \cdot \sqrt{\frac{19,5 \cdot 10^{-6} \cdot [-5 - (-50)]}{\left(\frac{0,11}{0,034} \right)^2 - 1}} = 185,89 \text{ м.}$$

Третий критический пролет:

$$l_{3к} = 4,9 \cdot \frac{135}{0,034} \cdot \sqrt{\frac{(135 - 90) + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot [-5 - 0]}{8,9 \cdot 10^4 \cdot \left[\left(\frac{0,11}{0,034} \right)^2 - \left(\frac{135}{90} \right)^2 \right]}} = 143,91 \text{ м.}$$

Поскольку $l_{1к} > l_{3к}$, это значит что среднеэксплуатационный режим не может быть определяющим, значит, первый и третий критический пролет являются мнимыми. Расчетным режимом буде режим максимума нагрузок, в качестве которого может быть только режим максимального скоростного напора для проводов без гололедных отложений

При вычислении берем режим максимального ветрового напора с образованием гололеда, в этом слчае $\gamma_{н.б.} = \gamma_{\Sigma 3} = 0,11 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$, $t = t_{\Gamma} = -5^{\circ}\text{C}$.

2.4 Нахождение критической габаритного пролета и температуры

Критической температура называется такая величина воздуха, при которой стрела провеса проводов при наличии гололедных образований имеет одинаковое значение, как и от воздействия собственного веса.

Произведем расчет критической температуры воздуха и климатических условий, при показателях которой провис провод будет имеет наибольшее значение.

Критическая температура воздуха рассчитывается по выражению (39):

$$t_{\kappa} = (t_{\Gamma} - 3) + \frac{\sigma_{нб}}{\alpha \cdot E} \cdot \frac{\gamma_{п}}{\gamma_{\Sigma 3}}. \quad (39)$$

$$t_{\kappa} = (-5 - 3) + \frac{135}{19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4} \cdot \frac{0,034}{0,11} \approx 19^{\circ}\text{C}.$$

Максимальная положительная температура воздуха в Амурской области составляет 40°C , что выше критической температуры:

$$t_{+} = 37 > t_{\kappa} = 19^{\circ}\text{C},$$

из этого следует что, максимальная стрела провисания провода будет при наибольшей температуре, т.е. от массы провода.

Для определения габаритных пролетов необходимо сделать расчет уравнение состояния провода (28), в котором расчетные условия являются исходными данными, а габаритные – неизвестными (40):

$$l_{\text{габ}}^4 \cdot \left(\frac{\gamma_{[f]}}{8 \cdot f} + \left(\frac{\gamma_{[\sigma]}}{\sigma_{\text{нб}}} \right)^2 \cdot \frac{E}{24} \right) - l_{\text{габ}}^2 \cdot [\sigma_{\text{нб}} + \alpha \cdot E \cdot (t_{[\sigma]} - t_{[f]})] - \frac{8}{3} \cdot f^2 \cdot E = 0, \quad (40)$$

$\gamma_{[f]}$ – удельная механическая нагрузка, соответствующая максимальному провисанию провода, Н/м·мм², $\gamma_{[f]} = \gamma_{\text{п}}$;

$\gamma_{[\sigma]}$ – исходная удельная механическая нагрузка для вычисления проводов на способность противостоять механическим воздействиям, Н/м·мм², $\gamma_{[\sigma]} = \gamma_{\Sigma 3}$;

$t_{[\sigma]}$ – исходная t^0 для расчета провода на прочность, °С, $t_{[\sigma]} = t_{\text{г}}$;

$t_{[f]} - t^0$, наибольшей стрелы провисания провода, °С, $t_{[\sigma]} = t_{+}$.

Преобразуем биквадратное уравнение (40) к следующему виду (41):

$$A \cdot l_{\text{габ}}^4 - B \cdot l_{\text{габ}}^2 - C = 0, \quad (42)$$

$$\text{где } A = \frac{\gamma_{[f]}}{8 \cdot f} + \left(\frac{\gamma_{[\sigma]}}{\sigma_{\text{нб}}} \right)^2 \cdot \frac{E}{24} = \frac{0,034}{8 \cdot 4,25} + \left(\frac{0,11}{135} \right)^2 \cdot \frac{8,25 \cdot 10^4}{24} = 0,00328;$$

$$B = \sigma_{\text{нб}} + \alpha \cdot E \cdot (t_{[\sigma]} - t_{[f]}) = 135 + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot (-5 - 37) = 68,47;$$

$$C = \frac{8}{3} \cdot f^2 \cdot E = \frac{8}{3} \cdot 4,25^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 = 3,97 \cdot 10^6.$$

Биквадратное уравнение (2.26) принимает вид:

$$0,00328 \cdot l_{\text{габ}}^4 - 68,47 \cdot l_{\text{габ}}^2 - 3,97 \cdot 10^6 = 0.$$

$l_{\text{габ}}$ может быть определено по следующему выражению:

$$l_{\text{габ}} = \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}} = \sqrt{\frac{68,47 + \sqrt{68,47^2 + 4 \cdot 0,00328 \cdot 3,97 \cdot 10^6}}{2 \cdot 0,00328}} = 216,24 \text{ м} \cong 320 \text{ м}.$$

Так как $l_{\text{габ}} \cong 320 > l_{2\text{к}} = 185,89 \text{ м}$ – Из этого следует, что условия выбраны, правильно. Стрела провиса провода в габаритном пролете будет:

$$f_{\text{габ}} = \frac{\gamma_{\text{п}} \cdot l_{\text{габ}}^2}{8 \cdot \sigma_{\text{нб}}} = \frac{0,034 \cdot 220^2}{8 \cdot 135} = 1,524 \text{ м}. \quad (43)$$

величина длины провода в пролете длиной 320 м для этой стрелы провеса провод:

$$L = l + \frac{8 \cdot f^2}{3 \cdot l} = 320 + \frac{8 \cdot 4,25^2}{3 \cdot 220} = 320,21 \text{ м} \quad (44)$$

2.5. Выбор марки изоляторов

Для проектируемой КВЛ 220кВ. нужно подобрать тип и марку изоляторов. Тип и марку изолятора определяем применяя[2].

Для подвесных гирлянд подвешенных на промежуточных опорах выбор в нормальном режиме производится при максимальной нагрузке и при среднеэксплуатационных условиях

При максимальной нагрузке:

$$2,7 \cdot (n_{\phi} \cdot \gamma_{HB} \cdot F_{np} \cdot l_{вес} + G_{\Gamma}) \leq P, \quad (45)$$

где, $n_{\phi} = 1$ соответствует числу проводков при расщеплении фазы;

$\gamma_{HB} = 0,111$ максимальная сила воздействия даН/мм²;

$F_{np} = 453,28$ величина сечения проводов в мм²

$l_{вес} = 354$ наибольший весовой пролет ВЛ, м;

$G_{\Gamma} = 12$ средний вес изоляторов, Н;

P – электрическая механическая разрушительная нагрузка изолятора,

Н.

$$l_{вес} = 1,25 \cdot l_{заб} = 1,25 \cdot 220 = 275 \text{ (м)}, \text{ подставляя значения (43)}$$

получаем:

$$\begin{aligned} 2,7 \cdot (n_{\phi} \cdot \gamma_{HB} \cdot F_{np} \cdot l_{вес} + G_{\Gamma}) &= \\ &= 2,7 \cdot (1 \cdot 0,111 \cdot 453,28 \cdot 275 + 800) = 39518 < 70000 \text{ Н} \end{aligned}$$

При средних эксплуатационных условиях:

$$\begin{aligned} 5(n_{\phi} \cdot \gamma_{II} \cdot F_{np} \cdot l_{вес} + G_{\Gamma}) &= \\ &= 5(1 \cdot 0,034 \cdot 453,28 \cdot 275 + 800) = 25190,84 < 70000 \text{ Н} \end{aligned} \quad (46)$$

В режиме аварии на изоляторы действуют механические нагрузки от веса проводов и массы всех изоляторов, тоже и редуцирование натяжения:

$$T_{нб} = n_{\phi} \cdot \sigma \cdot F_{np}$$

$$k_{pд} = 0,4 \text{ редуционный коэффициент;}$$

Исходя из того что весовой пролет длиннее второго критического, из этого следует, пролет "весовой" выбираем как рабочий, учитывая режим максимальных нагрузок:

$$\sigma_{нб} = 135 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\begin{aligned} & 1,8 \sqrt{\left(\frac{n_{\phi} \cdot \gamma_{нб} \cdot F_{np} \cdot l_{вес}}{2} + G_{Г} \right)^2 + (k_{pд} \cdot T_{нб})^2} = \\ & = 1,8 \sqrt{\left(\frac{1 \cdot 0,111 \cdot 453,28 \cdot 275}{2} + 800 \right)^2 + (0,4 \cdot 135 \cdot 453,28)^2} = \\ & = 46194,95 \text{ Н} < 70000 \text{ Н} \end{aligned} \quad (47)$$

$T_{нб}$ – сила тяжения, Н, используя формулу

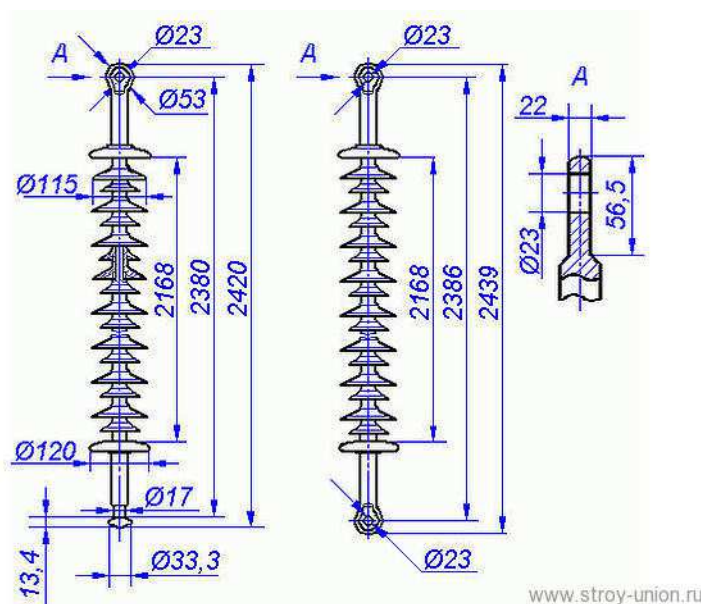
$$T_{нб} = n_{\phi} \cdot \sigma_{нб} \cdot F_{пр} = 1 \cdot 135 \cdot 118 = 15930 \text{ Н.}$$

сравнивая три значения нормативных нагрузок получаем, что выбор изолятора для поддерживающих гирлянд нужно по нормальному режиму.

Выбираем подвесной полимерный изолятор ЛК-120/220

Таблица 11 – Технические данные изолятора ЛК-120/220

Механическая разрушающая сила, кН.	Изоляционная высота в мм	Строительная высота в мм	Длина пути утечки, мм	Масса, кг
120	1830	2055	5550	6



А) внешний вид; Б) конструктивное исполнение.

Таблица 7–Линейная арматура для изолятора ЛК-120/220

Позиция	Обозначение	Наименование	Количество	Масса, ед.кг
1	КГП Н-16-3	Узел крепления	1	1,81
2	СРР С-7-16	Серьга специальная	1	0,82
4	У1К- 7-16	Ушко однолапчатое	1	0,62

5	ПГН -3-5	Зажим поддерживающий глухой	1	1,10
Масса арматуры, кг				3,85

Маркировка изолятора ЛК-120/220

Л– подвесной;

К– из кремнийрезиновый ;

120 – механическая разрушающая сила, кН;

Вывод: изолятор ЛК120/220 в режиме аварийном работы подходит требованию для максимально допустимой механической разрушающей силе

Сравнение всех значений нагрузок доказывает, что в выбор изолятора для промежуточных опор должен производиться по аварийному режиму работы линии.

Рядом со строящейся ВЛ на расстоянии до 750 м, находится угольный разрез Согласно таблице 1.9.12 [1] загрязнение атмосферного воздуха принадлежит району 3.

Определим длин пути утечки [1. п.1.9.9.](48):

$$L = \lambda_{\text{э}} \cdot U \cdot k, \quad (48)$$

где L – значение длинны путей течи, см.

$\lambda_{\text{э}}$ – удельная эффективная длины путей утечки, см/кВ, для 1 района по степени загрязнения $\lambda_{\text{э}} = 1,1$ см/кВ [1, табл. 1.9.1];

U – максимальное межфазное напряжения, кВ, составляет 238 кВ [6];

k – коэффициент использования изоляционной конструкции, находится по выражению [1, п. 1.9.44] (49):

$$k = k_{\text{и}} \cdot k_{\text{к}}, \quad (49)$$

где $k_{\text{и}}$ – значение коэффициента использования изолятора, согласно [1. п.1.9.45]

$k_{\text{к}}$ – значение коэффициента использования гирлянды с ветвями соединенными параллельно. [1. п. 1.9.51] $k_{\text{к}} = 1$.

Значение коэффициент использования гирлянды изоляторов:

$$k = 1,1 \cdot 1 = 1,1.$$

Длина пути утечки равна:

$$L = 1,1 \cdot 225 \cdot 1,1 = 238 \text{ см.}$$

Нормативные нагрузки, приложенные к натяжным гирляндам анкерных опор, находятся аналогичным образом, как и для изоляторов промежуточных опор. Допустимый весовой пролет для анкерных опор принимаем равным весовому пролету промежуточных опор:

$$l_{\text{вес}} = 275 \text{ м.}$$

Выбор изоляторов для натяжных гирлянд анкерных опор в нормальном режиме работы осуществляется при максимальных механических нагрузках (50) и в средне эксплуатационных условиях (51):

$$2,5 \cdot \sqrt{\left(\frac{\gamma_{\text{нб}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{вес}}}{2} + G_{\Gamma} \right)^2} + (\sigma_{\text{нб}} \cdot F_{\text{пр}})^2 \leq P, \quad (50)$$

$$6 \cdot \sqrt{\left(\frac{\gamma_{\text{п}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{вес}}}{2} + G_{\Gamma} \right)^2} + (\sigma_{\text{сэ}} \cdot F_{\text{пр}})^2 \leq P, \quad (51)$$

где $\sigma_{\text{сэ}}$ – напряжение в проводе, Н/мм², определяется с учетом $l_{\text{вес}}$ по зависимостям изменения механического напряжения от длины пролета (рисунок 1), $\sigma_{\text{сэ}} = 90 \text{ Н/мм}^2$.

Нормативная нагрузка, приложенная к натяжным гирляндам анкерных опор, при наибольшей нагрузке составляет:

$$2,5 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,11 \cdot 453,28 \cdot 275}{2} + 800 \right)^2} + (135 \cdot 453,28)^2 = 154194,056 \text{ Н.}$$

Нормативная нагрузка, приложенная к натяжным гирляндам анкерных опор, при среднеэксплуатационных условиях работы составляет:

$$6 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,034 \cdot 453,28 \cdot 275}{2} + 800 \right)^2} + (90 \cdot 453,28)^2 = 245397,065 \text{ Н.}$$

Сравнение двух вариантов значений показывает, что осуществляя выбор изолятора для сборки натяжной гирлянды анкерной опоры нужно принимать во внимание величины нагрузок при среднеэксплуатационных условиях.

Выбир остановим на высоковольтном изоляторе марки ПС–120Б [4.табл.1.70].

Для определения количества изоляторов в гирлянде, определим длину пути утечки по формуле (2.39).Значение коэффициента использования изоляторов, согласно [1. п.1.9.45] равен:

$$\frac{L_{\text{и}}}{D} = \frac{320}{255} = 1,26 \Rightarrow k_{\text{и}} = 1,16 .$$

Значение коэффициента использования составной конструкции $k_k=1$ Коэффициент использования изоляционной конструкции согласно(2.33) равен:

$$k = 1,16 \cdot 1 = 1,16 .$$

Длина пути утечки равна:

$$L = 1,16 \cdot 238 \cdot 1,1 = 303,6 \text{ см.}$$

Число изоляторов в поддерживающей гирлянде для анкерной опоры согласно формуле (2.34) равна:

$$m = \frac{974}{38} = 25,63 \cong 26 \text{ шт.}$$

С учетом арматуры принимаем $m = 27$ шт.

Длина и вес натяжной гирлянды по формуле (2.35) и (2.36) соответственно составят:

$$\lambda_{\text{п}} = 27 \cdot 0,17 = 4,59 \text{ м;}$$

$$G_{\text{и}} = 27 \cdot 7,2 = 194 \text{ кг.}$$

Таблица 8– Технические данные изолятора ПС-160Е

максимальная разрушающая напряжение, кН	Диаметр тарелки изолятора D, мм	высота Н, мм	Длина пути утечки, мм	Масса, кг
160	280	160	385	7,2

Таблица 9– Перечень линейной арматуры для изоляторов ПС-160д

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса, ед.кг
1	ПР-7-6	Звено промежуточное	1	0,34
2	2-КЛ-21-1	Коромысло лучевое		2,5
3	К-12-1А	Скоба	2	0,91
4	У2К-7-16	Ушко двухлапчатое	1	0,75
5	СР-12-16	Серьга	1	0,41
6	НАС 450-1Б	Зажим натяжной	1	2,19
7				
Полная масса арматуры, кг				8,40

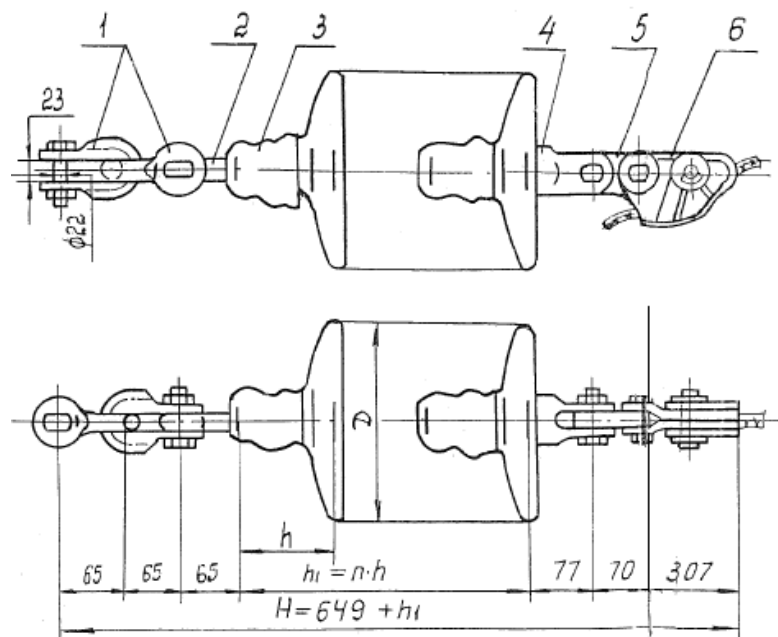


Рис. 5– Натяжная гирлянда изоляторов ПС-160Е

Для вычисления числа изоляторов в гирлянде рассчитаем длину пути утечки всей гирлянды:

$$L = \lambda_y \cdot U \cdot k = 1,6 \cdot 238 \cdot 1,1 = 418 \text{ см}$$

$$m = \frac{L}{L_k} = 418 / 38,5 = 10,88 \approx 15 \text{ шт}$$

На анкерных опорах U=220 кВ Значение длины гирлянды изоляторов учитывая длину комплекта применяемой для подвески провода арматурой будет:

$$\lambda_n = (H \cdot m + 649) \cdot 10^{-3} = (146 \cdot 14 + 649) \cdot 10^{-3} = 2,693 \text{ м} \quad (50)$$

а массы гирлянд изоляторов учитывая массу комплекта применяемой для подвески провода арматурой будет:

:

$$G_n = m \cdot 14 + 5,9 = 6,13 \cdot 14 + 5,9 = 91,72 \text{ кг}. \quad (51)$$

Из [2] глухие поддерживающие зажимы принимаются для ВЛ 220 кВ

2.6 Построение шаблона для расстановки промежуточных опор

Для монтируемой ВЛ 220кВ нужно рассчитать и построить шаблон для расстановки опор по трассе. Следует учитывать следующие условия:

Величина габаритна не может быть менее, регламентируемого [2];

Величина нагрузки на опору не может быть выше значений, применяемых для опор соответствующего типа.

Входе расчетов видно, что максимальный провис проводов появляется от нагрузок собственных масс.

Величина напряжения при габаритных климатических условиях остается неизвестной, в этой связи следует решить уравнения состояний проводов.

Из этого, получается, $\sigma_{\text{габ}} = \sigma_0 = 135 \text{ Н / м}$. Тогда:

$$k_{\text{ш}} = \frac{\gamma_{\text{п}} \cdot 10^4}{2 \cdot \sigma_{\text{габ}}} = \frac{0,034 \cdot 10^4}{2 \cdot 135} = 1,26$$

$$y = 1,26 \left(\frac{x}{100} \right)^2.$$

Согласно (2) габаритной кривой является средняя парабола. Она расположена со смещением вниз по вертикальной оси от параболы (1) на

величину, равную необходимому габариту с запасом равным 0,3 м. В ненаселенной местности величина габарита равна $\Gamma=6$ (м).

$$h_{\text{габ}} = \Gamma + 0,5 = 6 + 0,5 = 6,5 \text{ м}$$

Согласно (3) нижняя парабола является земляной кривой. Ее используют, при правильном накладывании шаблона на профиль трассы не измеряя высоту подвески проводов на опорах h_0 . согласно кривая три смещена в отношении кривой один на величину расстояния:

$$h_0 = H_{\text{тр}}^{\text{н.ж.с}} - \lambda_n = 22,5 - 2,689 = 19,8123 \text{ м}$$

где, $H_{\text{тр}}^{\text{н.ж.с}} = 22,5$ м- высота расположения от земной поверхности до места установки нижней траверсы на опоре;

$\lambda_n = 2,689$ м- Значение длины гирлянд изоляторов.

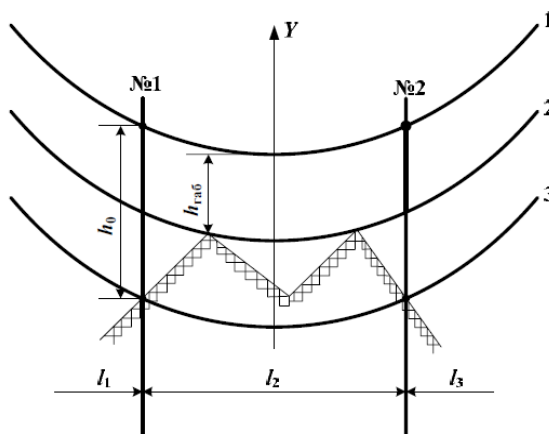


Рисунок 6– Накладывание графического изображения шаблона на профиль трассы

Шаблон необходимо выполнять используя тот же масштаб, как и в изображении продольного профиля трассы:

с права на лево – 1:5000 (в 1 см – 50 м);

с верху в низ – 1:500 (в 1 см – 5 м).

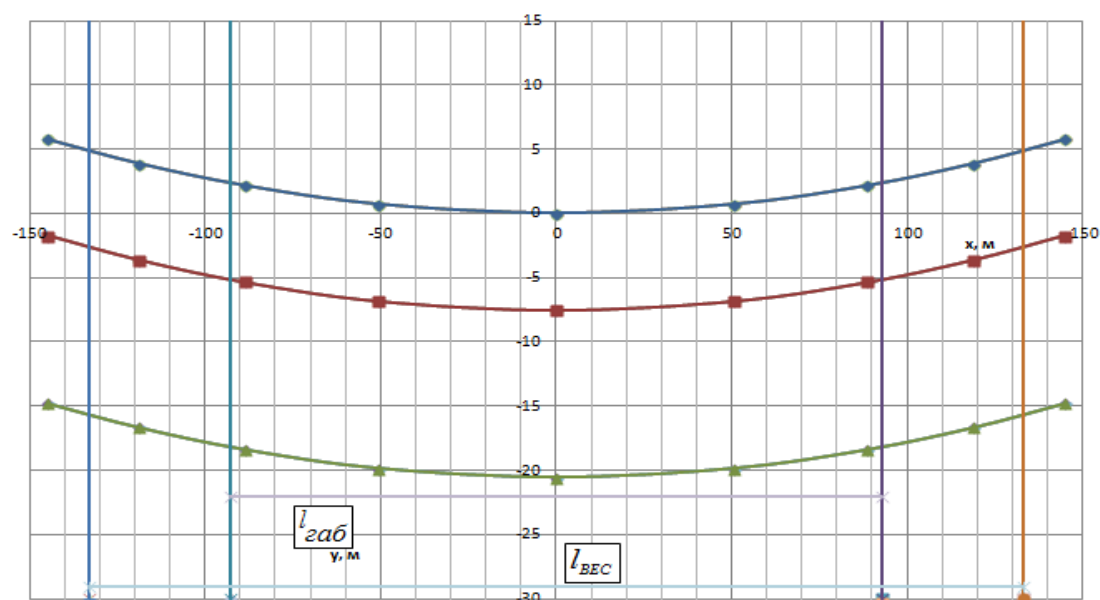


Рисунок 7– Шаблон для расстановки опор по профилю трассы.

Расстановка стоек опор по профилю трассы ВЛ производится таким способом: данный шаблон накладывается на профиль трассы таким образом, что-бы кривая три пересекла профиль на месте где будет установлена первая опора, и чтобы кривая 2 прикасалась к нему. в этом случае ось "у" должна располагаться в вертикальном положении. И следующая точка пересечения кривой 3 с профилем будет находится на месте установки первой опоры. При таком расположении шаблона в любых точках пролета габарит до земной поверхности должен быть равен или больше допустимому. После того шаблон перемещается и таким же способом определяется место для следующей опоры.

В случае когда длина крайнего пролета в конце анкерного пролета окажется слишком мала м, то её необходимо сместить, уменьшая длины следующих пролетов, чтобы все эти пролеты были примерно одинаковыми. При помощи данного шаблона делаем дополнительную проверку чтобы убедиться, что при уменьшении длины пролетов габариты остаются не меньше допустимых.

2.5 Расчет перехода

На третьем километре двухцепная КВЛ 220кВ пересекает дорогу категории 1А (Ширина дороги категории 1А – 30 м.) Местность равнинная

Находим наиболее возможное расстояние между двумя анкерными опорами данного пролета.

Переход будет ограничен с каждой стороны анкерными опорами, в связи с этим проверять габарит необходимо производить по режиму нормальной работы

Место пересечения необходимо выбирать как можно ближе к опоре пересекающей ВЛ .

значение угла пересечения линии с автодорогами не нормируется [2].

Из [2], высота от проводов ВЛ 220 кВ до плоскости дороги категории 1А не должно быть менее 11 м [2].

Для ВЛ 220 кВ, при пересечении нескольких сооружений, требуется выполнять проверку величины габаритов при нагрузке провода от собственной массы и температурой $t_{дон} = 70^{\circ}C$.

Переход выполнен с двух сторон опорами анкерного типа. Следовательно проверку габарита нужно производить по нормальному режиму.

Так как монтаж планируется осуществить с применением стальных свободностоящих опор, следовательно и анкерные опоры необходимо выбирать стальные свободностоящие.

Выбираем опору марки У220-2Т [3] с нижней траверсой расположенной на высоте 19,5 м.

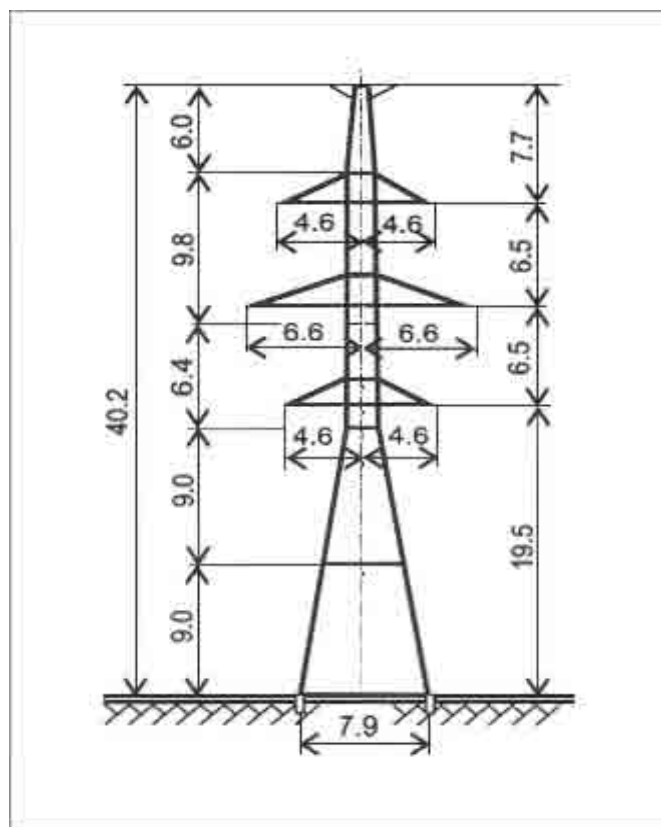


Рисунок 8 – Унифицированная анкерная угловая опора У220-2Т

Таблица 10 – Техническая характеристика опор У220-2Т

марка опоры	У220-2Т
Тип опоры	Двухцепная
Марка провода	АС70/11-АС400/64
Длина пролета, м	220-400
высота, м	40,2
Высота до нижней траверсы, м	19,5
Ширина, м	13,2
Масса, т	20020

Маркировка опоры У220-2 Т:

У – угловая;

220 – напряжение, кВ;

2 – двухцепная.

Берем подставку с величиной высоты равной 9 м с основанием шириной 8,96 м, маркировка опоры будет У220-2+9.

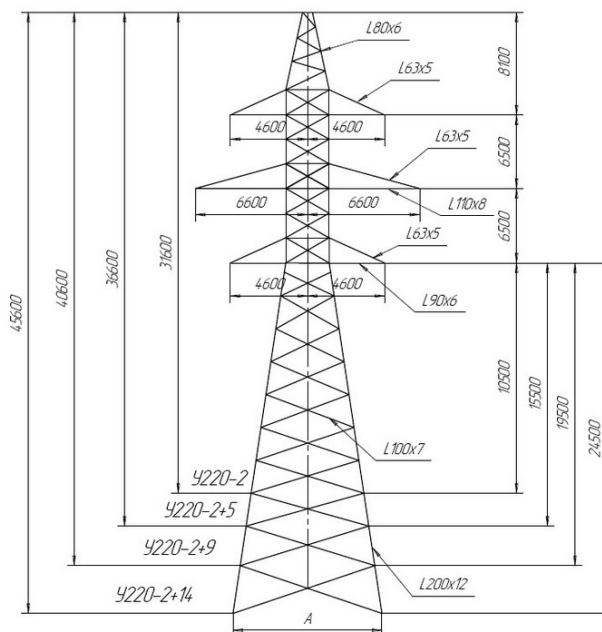


Рисунок 9 – Схема Унифицированной анкерной угловой опоры У220-2Т

Расстояние по горизонтали от края дорожного полотна до вертикальной оси опоры будет[4]:

$$45,6 + \frac{8,96}{2} \approx 49\text{м.}$$

Участок земли на котором будет установлена опора имеет равнинный характер, тогда разницы нет, с права или слева от автодороги устанавливать первую опору. Первую опору ставим справа от дорожного полотна. Расположение следующей опоры находим при помощи расчета.

Берем расстояние в горизонтальной плоскости от вертикальной оси левой опоры:

-до левой бровки земляного полотна дороги – 200 м.

-до правой бровки полотна дороги – 140 м.

Началосистемы координат совмещается с местом крепления нижних проводов на правой опоре и расположена на высоте 25,4 м.

профиль трассы и справа и слева от полотна автодороги имеют равнинный характер, угол уклона $t \approx 0$

берем условия по наибольшим климатическим нагрузкам.

$$\gamma_{нб} = 0,111 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2; \quad \sigma_{нб} = 135 \text{ Н/мм}^2; \quad t_z = -5^\circ \text{C}$$

максимальное значение провиса проводов может быть при воздействии нагрузки:

$$\gamma_{\Pi} = 0,034 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

При то что проверку габаритов нужно производить при температуре $+70$ ($t_{дон} = 70^\circ \text{C}$), и уравнение состояния будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{70} - \frac{\gamma_n^2 E l_{ан}^2}{24 \sigma_{70}^2} &= \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{нб}^2 E l_{ан}^2}{24 \sigma_{нб}^2} - \alpha E (70 - t_z) \\ A &= \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot E \cdot l_{ан}^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (70 - t_z) = \\ &= 135 - \frac{0,111^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_{ан}^2}{24 \cdot 135^2} - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot (70 - (-5)) = \\ &= 16,200 - 0,00232391 \cdot l_{ан}^2 \end{aligned} \quad (52)$$

$$B = \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot E \cdot l_{ан}^2}{24} = \frac{0,034^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot l_{ан}^2}{24} = 3,974 \cdot l_{ан}^2 \quad (53)$$

$$\sigma_{70} = \sigma_{сэ(\kappa)}^{(1)} = 27,818 \text{ Н/мм}^2 \quad (54)$$

Определяем значения (54), (53), (52) для различных длин пролета и проводим проверку останутся ли запасы в габаритов Δ с учетом требований [2] заносим данные в таблицу 9.

Таблица 9– Расчет механических напряжений в проводе при различных значениях $l_{ан}$

L	A	B	$\sigma-0$	$\sigma-1$	$\sigma-2$	$\sigma-3$	$\sigma-4$	$\sigma-5$	$\sigma-6$	$\sigma-7$
100	-35,15	39740	115,992	74,89795	48,75578994	33,62973	27,02095	25,63879	25,58067	25,58057
200	-189,2	158960	27,02095	27,10876	27,10859674	27,1086	27,1086	27,1086	27,1086	27,1086
300	-445,95	357660	27,1086	27,48841	27,48556993	27,48557	27,48557	27,48557	27,48557	27,48557
330	-543,002	432768,6	27,48557	27,54132	27,54125794	27,54126	27,54126	27,54126	27,54126	27,54126
350	-612,838	486815	27,54126	27,57107	27,57105678	27,57106	27,57106	27,57106	27,57106	27,57106
400	-805,4	635840	27,57106	27,62773	27,62766682	27,62767	27,62767	27,62767	27,62767	27,62767
450	-1023,64	804735	27,62767	27,66704	27,66700713	27,66701	27,66701	27,66701	27,66701	27,66701
500	-1267,55	993500	27,66701	27,69543	27,69541669	27,69542	27,69542	27,69542	27,69542	27,69542

Рассчитываем ординаты кривой провиса проводов для точек на оси абсцисс, соответствующие правой и левой бровки дорожного полотна.

$$y = \frac{\gamma \cdot x}{2 \cdot \sigma} \cdot (l - x) \quad (55)$$

Рассчитанные при помощи формулы (55) значения занесем в таблицу 10:

Таблица 10– значения ординат кривой провиса проводов

L	x1=33	x2=70	x3=100	x4=L/2
100	1,469357	1,3955904	0	1,661417
200	3,455989	5,7066768	6,271073	6,271073
300	5,44966	9,9579526	12,37013	13,91639
330	6,049724	11,234055	14,19688	16,80479
350	6,450134	12,085137	15,41472	18,88303
400	7,452204	14,214012	18,45976	24,61301
500	9,469293	18,494953	24,57801	38,40314

Проверяем, соблюдается ли запас в габарите с учетом требований [2]

Таблица 11– Запас в габарита

$Y_{x1}>3$	$Y_{x2}>0$	$Y_{x3}>0$	$Y_{x4}>0$	L
12,93064269	14,50441	15,9	14,23858	100
10,91001145	10,19332	9,628927	9,628927	200
8,916340369	5,942047	3,529873	1,983607	300
8,316276333	4,665945	1,703118	-0,90479	330
7,915866391	3,814863	0,485284	-2,98303	350
6,913796332	1,685988	-2,55976	-8,71301	400
4,89670689	-2,59495	-8,67801	-22,5031	500

Из таблице 10 очевидно, что длина пролета остается в пределах от 400 до 500 м. Выбор длины данного пролета зависит запасом в габарите над левой бровкой дорожного полотна. длину пролета можно определить, с помощью построения графика зависимости величин запаса для левой бровки от величины пролета.

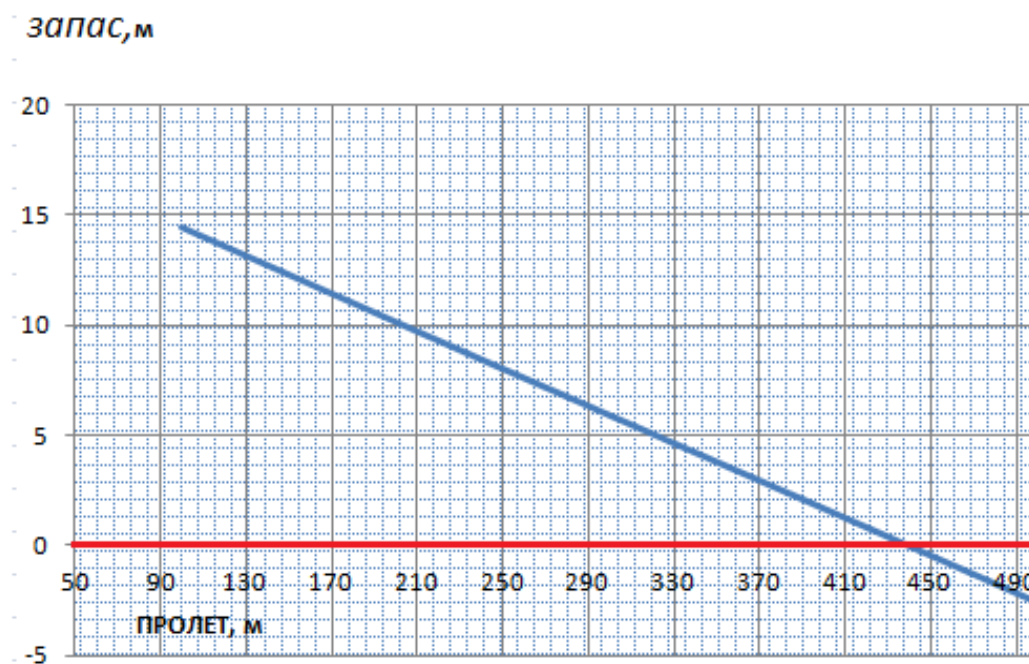


Рисунок 10– График зависимости величины запаса от длины пролета
в данном графике видно, запас остается до пролета $l_{ан} \approx 440$ м.

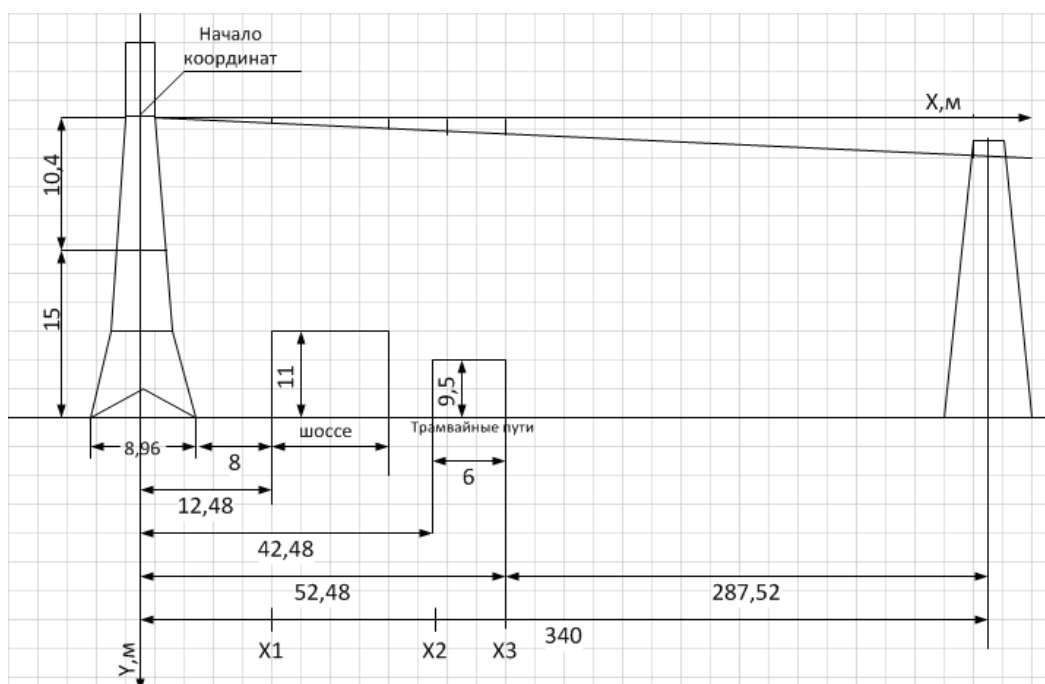


Рисунок 11– Профиль трассы в месте пересечения ВЛ с автодорогой

2.8 Выбор грозозащитного троса

Согласно [2], ВЛ напряжением от 110 кВ до 500кВ выполненные на металлических и железобетонных опорах необходимо защищать от воздействия попаданий в них молнии тросами по всей протяженности ВЛ.

стальной трос марки ТК-70 с техническими данными, указанными в таблице 12 [3], найти защитные углы для провода подвешенного на промежуточных опорах и соответствие их требованиям [2] по защите ВЛ от атмосферных перенапряжений. Рассчитываем натяжение троса, требуемое для исключения пробоев грозовых разрядов до проводов и перекрытий с троса до провод в случае воздействия грозового разряда на тросы в пределах всей протяженности пролета, а также необходимо провести проверку троса на электромеханическую прочность.

Грозозащитный трос подвешивается при помощи изоляторов шунтированных искровыми промежутками на тросостойках для того чтобы исключить дополнительные потери мощности

общий размер изолятора, в сборе $\lambda_T = 0,39$ м.

длина собранной гирлянды изоляторов на промежуточной опоре $\lambda_{II} = 3,08$ м.

Таблица 12– Параметры троса типа ТК-70

Параметры	ТК-70
Площадь сечения, мм ²	72
Масса каната, кг/км	627,4
Диаметр троса, мм	11

Тип грозозащитного троса ТК-70:

Нормативное ветровое давление $W = 650$ Па.

Толщина гололедного образования $b_g = 20$ мм.

$E_T = 19,6 \cdot 10^4$ Н/мм² - модуль продольной упругости троса;

$\alpha_T = 12 \cdot 10^{-6}$ 1/°C - температурный коэффициент линейного расширения троса.

Значения температур: $t_{сз} = 0^\circ C, t_- = -50^\circ C, t_+ = 40^\circ C, t_z = -5^\circ C$.

Величина допускаемого напряжения в тросе:

$$\sigma_{нб} = \sigma_- = 620 \text{ Н/мм}^2, \sigma_{сз} = 420 \text{ Н/мм}^2.$$

Из [2] угол защиты α не должен быть менее 30° [2],

Найдем угол защиты провода для верхней траверсы опоры:

$$\alpha_{пв} = \arctg \frac{D_B}{H_{ТС} + \lambda_{II} - \lambda_T} = \arctg \frac{3,5}{5,5 + 3,08 - 0,39} = 25,71^\circ < 30^\circ,$$

где, D_B - 1/2 Величины размера верхней траверсы;

D_c - 1/2 Величины размера средней траверсы;

$H_{ТС}$ - размер тросостойки;

Находим защитный угол проводов подвешенных на средней траверсы

$$\alpha_{\text{пв}} = \arctg \frac{D_c}{H_{\text{CB}} + H_{\text{TC}} + \lambda_{\text{II}} - \lambda_{\text{T}}} = \arctg \frac{6,5}{6,5 + 5,5 + 3,08 - 0,39} = 26,344^\circ < 30^\circ$$

Требование [2] выполняются.

Находим механические нагрузки, которые воздействуют на трос в при данных условиях климатических.

Величина постояннодействующей нагрузки от веса троса.

$$P_m = M_m \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 627,4 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 6,148 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_m = 6,148 / 72 = 0,085 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Величина нагрузки от гололеда на 1 метр троса:

Величина нагрузки нормативной нагрузки:

$$p_{\text{зм}}^H = \pi \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_{\text{э}} \cdot (d_m + k_i \cdot k_d \cdot b_{\text{э}}) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3}.$$

Значения коэффициентов применяемых расчетах берем из первой главы

$$p_{\text{зм}}^H = 3,14 \cdot 20 \cdot (11 + 1 \cdot 1 \cdot 20) \cdot 0,9 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 17,17 \text{ Н/м}.$$

Величина расчетной нагрузки:

$$P_{\text{зм}} = p_{\text{зм}}^H \cdot \gamma_{\text{нз}} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \cdot \gamma_d.$$

Значения коэффициентов применяемых расчетах берем из первой главы

$$p_{\text{зм}} = 17,17 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 0,5 = 13,736 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{\text{гп}} = \frac{13,736}{72} = 0,19078 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

суммарная нагрузка от собственной массы троса и гололеда

$$P_{\Sigma_1} = P_m + P_{\text{зм}} = 6,148 + 13,736 = 26,032 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{\Sigma_1} = 0,085 + 0,19078 = 0,27578 \text{ Н/м}.$$

Величина ветровой нагрузки, воздействующей на один метр троса без образования гололеда, под углом 90° к оси троса

Эта нагрузка равна давлению ветра

$Wa = 0,06W$, и более 50 Па, тогда $Wa = 0,06 \cdot 800 = 48 \text{ Па} < 50 \text{ Па}$

Примем 50 Па.

При $Wa = 50 \text{ Па} \rightarrow \alpha_w = 0,7$

При $l_{заб} = 320 \rightarrow k_l = 1,053$

$W = 800 \text{ Па}$

$k_w = 1$;

c_x равно 1,2 для троса, провода d больше или равно 20 мм.

$Wa = 50 \text{ Па}$.

$$P_m = d_m \cdot 10^{-3} = 11 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

Значение нормативной нагрузки:

$$\begin{aligned} p_{wm}^H &= \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot Wa \cdot F \cdot \sin^2 \varphi = \\ &= 0,7 \cdot 1,053 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot 11 \cdot 10^{-3} = 0,486 \text{ Н/м.} \end{aligned}$$

Значение расчетной нагрузки:

$$\begin{aligned} p_{wm} &= p_{wm}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 0,486 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 0,535 \text{ Н/м;} \\ \gamma_{гп} &= \frac{0,535}{72} = 0,0074 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2. \end{aligned}$$

Значение нагрузки от ветра воздействующая на один метр троса при гололеде под углом 90 градусов к оси троса.

Нормативныенагрузки:

$$\begin{aligned} P_{wm2}^H &= \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot Wa \cdot (dm + 2 \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_g) \cdot 10^{-3} = \\ &= 0,7 \cdot 1,053 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot (11 + 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20) \cdot 10^{-3} = 2,255526 \text{ Н/м.} \end{aligned}$$

Расчетнаянагрузка:

$$p_{wm2} = p_{wm2}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 2,255526 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 2,481078 \text{ Н/мм.}$$

Величина удельной нагрузки:

$$\gamma_{гт} = \frac{2,48107}{72} = 0,0345 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

суммарные нагрузки на трос без воздействия образования гололеда от воздействия ветров.

$$P_{\Sigma_2} = \sqrt{p_m^2 + p_{wm}^2} = \sqrt{6,148^2 + 0,535^2} = 6,171 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{\Sigma_2} = \frac{6,171}{72} = 0,0857 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Величина суммарной нагрузки на трос при образовании гололеда от ветрового воздействия.

$$P_{\Sigma_3} = \sqrt{p_{\Sigma_1}^2 + p_{wmz}^2} = \sqrt{26,032^2 + 2,481^2} = 26,149 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{\Sigma_3} = \frac{26,1499}{72} = 0,363 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Вычисления грозозащитного троса нужно производить вместе с вычислением провода исходя из того что нагрузка от воздействия ветра на трос без учета воздействия от гололеда рассчитывались при условиях воздействия атмосферного перенапряжения, то и нагрузку от воздействия ветра на провода без учета воздействия от гололеда следует рассчитывать для этих условий.

Нормативная нагрузка:

$$p_{wn}^H = \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot Wa \cdot Fn \cdot \sin^2 \varphi;$$

$$p_{wn}^H = 0,7 \cdot 1,053 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 50 \cdot 2,304 \cdot 10^{-3} = 0,0934 \text{ Н/м};$$

$$p_{wnz} = 0,0934 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 0,102 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{wna} = \frac{p_{wnz}}{F} = \frac{0,1027}{72} = 0,001427 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Из этого следует:

$$P_{\Sigma_{2na}} = \sqrt{p_n^2 + p_{wn}^2} = \sqrt{6,148^2 + 0,102^2} = 6,149 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{\Sigma_{2na}} = \frac{6,149}{72} = 0,085 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Найдем значения углов отклонения проводов от вертикальной плоскости:

$$\beta = \arctg\left(\frac{\gamma_{wna}}{\gamma_{\Sigma_{2a}}}\right) = \arctg\left(\frac{0,001427}{0,085}\right) = 1,6^\circ.$$

рассчитаем стрелу провиса проводов при T^0 атмосферных перенапряжений при t_a .

$$l_{np} = 0,9 \cdot l_{заб} = 0,9 \cdot 340 = 320 \text{ м.}$$

Уравнение состояний в комбинированных формах

$$f_{na}^3 + 0,375 \cdot \left(\frac{A \cdot l_{np}^2}{E} \right) \cdot f_{na} - \frac{3}{64} \cdot \frac{\gamma_{\Sigma 2na} \cdot l_{np}^4}{E} = 0;$$

$$\text{где } A = \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot l_{np}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} + \alpha E \cdot (t_z - t_a) = 620 - \frac{0,363^2 \cdot 320^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4}{24 \cdot 620^2} +$$

$$+ 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 \cdot (-5 - 15) = 530,33;$$

$$D = 0,375 \cdot \left(\frac{A \cdot l_{np}^2}{E} \right) = 0,375 \cdot \left(\frac{530,33 \cdot 320^2}{8,25 \cdot 10^4} \right) = 246,8;$$

$$F = \frac{3}{64} \cdot \frac{\gamma_{\Sigma 2na} \cdot l_{np}^4}{E} = \frac{3}{64} \cdot \frac{0,085 \cdot 320^4}{8,25 \cdot 10^4} = 506,41.$$

Значит уравнение для стрел провиса имеют форму:

$$f_{na}^3 + 246,8 \cdot f_{na} - 506,41 = 0.$$

Вычисление методом Ньютон при $f_{заб}=1,639$ м найденные результаты размещаем в таблице 13;

$$f_{k+1} = \frac{2}{3} \cdot \frac{f_k^3 + F / 2}{f_k^2 + D / 3}.$$

Таблица 13– Показатели вычисления стрелы провиса проводов при t_{na}

f0	f1	f2	f3	f4	f5
0,639	0,93756	0,89846	0,8887	0,88564	0,8856

Конечный ответ $-f_{na} = 0,8856$ м

Напряжение в самой нижней из точек проводов при грозовых разрядах

$$\sigma_{na} = \frac{\gamma_{\Sigma 2na} \cdot l_{np}^2}{8 \cdot f_a} = \frac{0,034 \cdot 128,241^2}{8 \cdot 0,8856} = 78,923 \text{ Н/м.}$$

Максимальные длины пролетов могут достигать:

$$l_{\max} = 1,25 \cdot l_{\max} = 1,25 \cdot 142,5 = 178,125 \text{ м};$$

$$f_{na \max} = f_{na} \cdot \left(\frac{l_{\max}}{l_{np}} \right)^2 = 0,8856 \cdot \left(\frac{178,125}{128,241} \right)^2 = 1,709 \text{ м.}$$

Значение вертикальной проекции наибольшей стрелы провеса провода

$$f_{na \max}^6 = f_{na \max} \cdot \cos \beta = 1,89 \cdot \cos 13,81 = 1,841 \text{ м.}$$

Расстояние между тросом и проводом в средней точке пролета z с помощью эмпирической формулы

$$z = 4 + 0,015 \cdot (l_{\max} - 200) = 4 + 0,015 \cdot (178,125 - 200) = 3,672 \text{ м.}$$

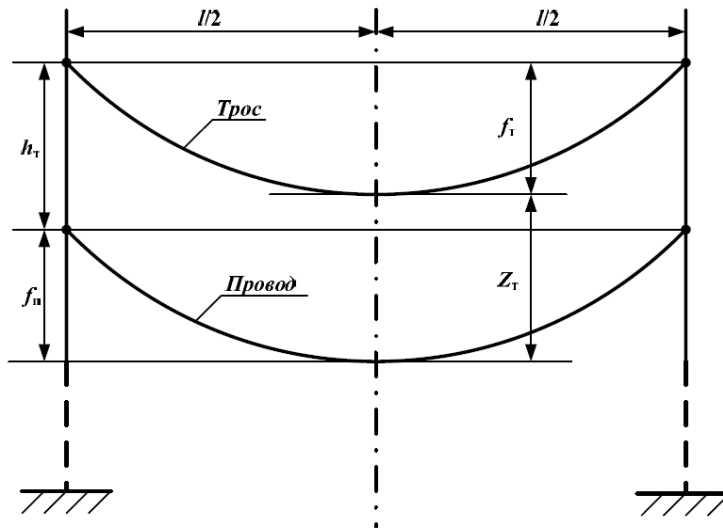


Рисунок 13– Вертикальное расположение проводов

Значение стрелы провиса троса

$$f_{ma \max} = f_{na}^6 + \lambda_n + H_{mc} - \lambda_m - z = 1,6948 + 3,08 + 4,2 - 0,39 - 3,672 = 4,913 \text{ м.}$$

Учитывая условие предотвращения прорыва тросовой защиты атмосферными перенапряжениями нужно в диапазоне:

$$l = 250 - 400 \text{ м};$$

$$f_{na}^6 - f_{ma \max} = 3,2182 \text{ м.}$$

По этому:

$$f_{ma \max} = f_{na}^6 - 3,2182 = 4,913 - 3,2182 = 1,6948 \text{ м.}$$

Тогда:

$$z = (f_{na}^6 - f_{мамак}) + \lambda_n + H_{mc} - \lambda_m = 3,2182 + 3,08 + 4,2 - 0,39 = 10,1082 \text{ м.}$$

Проверка защитного угла троса в центре пролета

$$\alpha_{TCP} = \arctg \frac{2}{10,1082} = 11,19^\circ < \alpha_{ПВ} = 15,709^\circ.$$

Вычисляем величину напряжения возникающее в тросах, которое обеспечивает максимальную стрелу провиса .

По причине возможности перемещения точки крепежа тросов, смонтированного на изолированной подвеске, рассматривают длину приведенных пролетов.

$$f_{ma} = f_{мамак} \cdot \left(\frac{l_{np}}{l_{мак}} \right)^2 = 4,913 \cdot \left(\frac{128,241}{142,5} \right)^2 = 3,979 \text{ м;}$$

$$\sigma_{ma} = \frac{\gamma_{\Sigma 2na} \cdot l_{np}^2}{8 \cdot f_{ma}} = \frac{0,085 \cdot 128,241^2}{8 \cdot 3,979} = 43,915 \text{ Н/м.}$$

Проведем проверку троса на механическую прочность, в режимах наибольших нагрузок.

Решим составленное основное уравнение состояния.

Известные условия: $\gamma_{\Sigma 2ma}$, t_a , σ_{ma}

условия которые нужно найти: $\gamma_{\Sigma 3ma}$, t_- , $\sigma_{нб}$

Следовательно уравнение состояния для производства проверки грозозащитного троса имеет вид:

$$\sigma_{тнб} - \frac{\gamma_{\Sigma 3ma}^2 E_m l_{np}^2}{24 \sigma_{тнб}^2} = \sigma_{ma} - \frac{\gamma_{\Sigma 2ma}^2 E_m l_{np}^2}{24 \sigma_{ma}^2} + \alpha_m E_m (t_a - t_z);$$

$$\sigma_{тнб} - \frac{1568000}{\sigma_{тнб}^2} = 49,084;$$

$$\sigma_{тнб}^3 - 49,084 \sigma_{тнб}^2 - 1568000 = 0.$$

Таблица 14– Результаты вычислений напряжений в тросе при условиях появления наибольших механических нагрузок

$\sigma-0$	$\sigma-13$	$\sigma-14$	$\sigma-15$	$\sigma-16$
600	103,2292	103,2289	103,229	103,229

Окончательный результат доказывает, что данный грозозащитный трос соответствует всем условиям наибольших нагрузок, потому что

$$\sigma_{\text{тнб}} = 103,229 \text{ Н / мм}^2 < \sigma_{\text{т}} = 620 \text{ (Н / мм}^2\text{)}$$

3 Определение механических нагрузок на опоры

3.1 Определение механических нагрузок на промежуточные опоры

Определим нагрузки нормативные и расчетные воздействующие как на промежуточные металлические опоры П-110-6В при нормальных режимах работы ВЛ для выбора и проверок фундаментов опоры.

Определение нормативных нагрузок

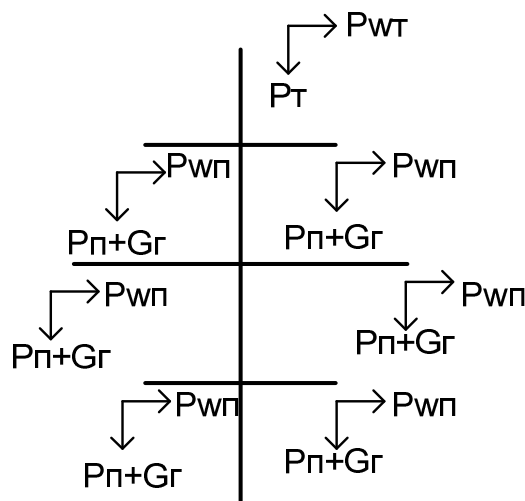


Рисунок 15 – Силы, воздействующие на промежуточную опору
К постоянным нагрузкам относится

Действующая нагрузка от собственной массы опоры:

$$P_{оп} = 6,202 \text{ т} = 6202 \text{ кг} = 6202 \cdot 9,8 = 60779,6 \text{ Н} = 60,779 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Нагрузка от веса гирлянд изоляторов:

$$G_{np} = n_z \cdot G_z = 6 \cdot 51 = 306 \text{ кг} = 306 \cdot 9,8 = 2,99 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Нагрузка от веса провода на $l_{вес}$ с учетом количества цепей ВЛ :

$$P_n = 2 \cdot 3 \cdot P_n \cdot l_{вес} = 2 \cdot 3 \cdot 15,4 \cdot 375 = 34,650 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Нагрузка от веса грозозащитного троса:

$$P_m = P_{m1} \cdot l_{\text{вес}} = 4,091 \cdot 275 = 2,304 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Итого для постоянно действующим нагрузкам:

$$P_{on} + G_{np} + P_n + P_m = (60,779 + 2,99 + 34,650 + 2,304) \cdot 10^3 = \\ = 100,723 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Кратко временные нагрузки

Значение нагрузки от воздействия ветра на провод без образования гололеда когда направление ветра по углом 90 градусов к линии с учитывая число цепей ВЛ

$$P_{wn} = 2 \cdot 3 \cdot p_{wn} \cdot l_{\text{вес}} = 2 \cdot 3 \cdot 16,63 \cdot 375 = 37,417 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Значение нагрузки от воздействия ветра на трос без образования гололеда:

$$P_{wt} = P_{wta} \cdot l_{\text{вес}} = 2 \cdot 0,622 \cdot 375 = 0,46 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Значение нагрузки от гололеда на проводах учитывая количества цепей

$$P_{gn} = 2 \cdot 3 \cdot p_{gn} \cdot l_{\text{вес}} = 2 \cdot 3 \cdot 36,92 \cdot 375 = 16,677 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Значение нагрузки на трос при образовании гололеда

$$P_{gt} = P_{gta} \cdot l_{\text{вес}} = 2 \cdot 16,118 \cdot 178,125 = 8,3 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Значение нагрузки от ветрового воздействия на опору:

$$Q_c'' = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A;$$

где, 5,40 – габариты основания опоры;

22,5 м – Значение высоты от нижней траверсы до основания;

2,2 м – средняя ширина опоры между нижней траверсой и верхом тросо стойки;

6,5+6,5+5,5 м – высота опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки;

$$A = 5,4 \cdot 22,5 + 1,4 \cdot (6,5 + 6,5 + 5,5) = 147,4 \text{ м}^2;$$

$$Q_c'' = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A = 1 \cdot 650 \cdot 1,1 \cdot 147,4 = 105,391 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Значение нормативной пульсационной составляющей:

В связи с тем что опора стальная, одностоечная, свободностояща;

$$Q_n^H = 0,5 \cdot Q_c^H = 0,5 \cdot 105,391 = 52,695 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Значение расчетной ветровой нагрузки на тело опоры:

$$Q = (Q_c^H + Q_n^H) \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = (105,391 + 52,695) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 173,894 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Монтаж ВЛ производится в третьем гололедном районе. нагрузку от воздействия гололеда на конструкции опор и обледенение гирлянд в расчет не берем

По кратковременным нагрузкам:

$$P_{wn} + P_{wm} + P_{zn} + P_{zm} + Q = 37,417 + 0,46 + 16,677 + 8,3 + 173,894 = 236,748 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка на промежуточные опоры:

$$P_{np \text{ on}} = P_{пост} + P_{кр} = 35,459 + 63,282 = 98,741 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

1.2 Определение нагрузок на анкерные опоры

Определим нормативную и расчетную нагрузку на анкерные металлические опоры 1У220-2Т в нормальном режиме работы ВЛ для дальнейшего выбора и проверки фундамента под опору.

Расчет нормативной нагрузки:

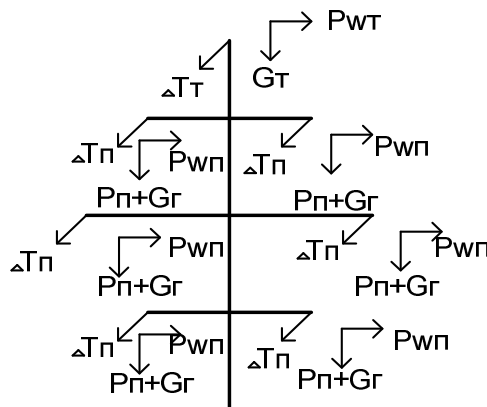


Рисунок 15– Нагрузки, воздействующие на анкерные опоры

Постоянные нагрузки:

Значение нагрузки от веса самой опоры:

$$P_{оп} = 20,020 \text{ т} = 20020 \text{ кг} = 20020 \cdot 9,8 = 19749 \text{ Н} = 196,19 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Значение нагрузки от веса гирлянд изоляторов:

$$G_{np} = n_z \cdot G_z = 6 \cdot 89,5 = 10,522 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Значение нагрузок от веса провода на $l_{вес}$ с учетом количества цепей ВЛ и количества фаз в системе проводов:

$$P_n = 2 \cdot 3 \cdot P_n \cdot l_{вес} = 16,677 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Значение нагрузок от веса троса:

$$P_m = P_m \cdot l_{вес} = 4,091 = 8,3 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Значение силы натяжения провода:

$$\Delta T_{\Pi} = \sigma_{нб} \cdot F_{\Pi} = 135 \cdot 453,28 = 61,192 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Значение силы натяжения троса:

$$\Delta T_T = \sigma_{нб} \cdot F_T = 135 \cdot 70 = 9,4 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Итого по постоянным нагрузкам:

$$P_{on} + G_{np} + P_n + P_m + N_g + T_n + T_m = (197,49 + 10,522 + 16,677 + 8,3 + 61,192 + 9,4) \cdot 10^3 = 229,88 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Значения кратко временных нагрузок:

Нагрузка от воздействия ветрового давления на провод не учитывая воздействия гололеда при направлении ветра перпендикулярно ВЛ учитывая двухцепной и трехфазной системы:

$$P_{wn} = 2 \cdot 3 \cdot P_{wn} \cdot l_{вес} = 2 \cdot 3 \cdot 11,235 \cdot 375 = 37,417 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка от давления ветра на трос без гололеда:

$$P_{wm} = P_{wma} \cdot l_{вес} = 0,622 \cdot 375 = 0,46 \cdot 2 = 0,92 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Нагрузка от веса гололеда на проводах с учетом двухцепной и трехфазной системы:

$$P_{zn} = 2 \cdot 3 \cdot p_{zn} \cdot l_{вес} = 2 \cdot 3 \cdot 15,605 \cdot 375 = 41,197 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка на трос от веса гололеда:

$$P_{zm} = P_{zma} \cdot l_{вес} = 16,118 \cdot 375 = 7,091 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нормативная средняя составляющая ветровая нагрузка:

$$Q_c^H = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A$$

где, 8,96 м – ширина базы у основания опоры;

25,4 м – высота опоры от основания до нижней траверсы;

2 м – средняя ширина ствола опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки;

5,5+5,5+8 м – высота опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки.

$$A = 8,96 \cdot 25,4 + 2 \cdot (5,5 + 5,5 + 8) = 265,584 \text{ м}^2;$$

$$Q_c^H = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A = 1 \cdot 800 \cdot 1,1 \cdot 265,584 = 233,713 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нормативная пульсационная составляющая

Так как опора свободностоящая, одностоечная, стальная, то:

$$Q_n^H = 0,5 \cdot Q_c^H = 0,5 \cdot 233,713 = 116,856 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Расчетная ветровая нагрузка на конструкцию опоры:

$$Q = (Q_c^H + Q_n^H) \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_f = (233,713 + 116,856) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = \\ = 385,626 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Производство строительства ВЛ проходит в третьем гололедном районе. Нагрузку гололеда на конструкцию опоры обледенение изоляторов в расчет не принимаем.

Итого при кратковременных нагрузках:

$$P_{wn} + P_{wt} + P_{zn} + P_{zt} + Q = (29,66 + 0,273 + 41,197 + 7,091 + 385,626) \cdot 10^3 = 463,847 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нагрузка на анкерную опору:

$$P_{пр\text{ оп}} = P_{ПОСТ} + P_{КР} = 229,88 + 463,847 = 693,727 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

1.3 Расчет железобетонных грибовидных фундаментов-подножников для промежуточных опор

Высчитаем основание фундамента для промежуточной опоры П220-2 при режиме нормальной работы ЛЭП.

Грунт состоит из супеси с консистенцией $J_L=0,54$ и значением коэффициента пористости $e=0,45$.

Таблица 14– Технические показатели фундамента Ф5-4

Высота фундамента h , м	Глубина заложения h_{ϕ} , м	Размер квадрата плиты a , м	стороны опорной	Масса фундамента G_{ϕ} , т
3,2	4	2,4x2,4		4,46

Маркировка фундамента Ф5-4:

Ф – фундамент;

5 – тип размер;

4 – для опор с башмаками, имеющих по четыре отверстия.

Из расчета характеристики грунтов, будем брать значения [3, таблицы 2.10 и 2.11]:

нормальное значение модуля деформации $E = 27000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$;

нормативное значение внутреннего сцепления $c^H = 12,5 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$;

нормативное значение угла внутреннего трения $\varphi^H = 26^\circ$;

Давление на почву площадки под ножника вычисляется из условий максимума деформации площадки для режима работы ВЛ при $E = 27000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$ с шириной и длинной стороны опоры плиты $a = 2,4 \text{ м}$ и с глубиной залегания фундаментов $h_{\phi} = 4 \text{ м}$. Давление на грунт основанием подножников $R_s = 361 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$.

Для промежуточных прямых опор, смонтированной в глинистый грунт с $J_L = 0,54$ величиной консистенции и относительным заглублением $h / a = 4 / 1,5 = 2,6 \text{ м}$. весом грунта обратной засыпки при механическом уплотнении $\gamma_3 = 17 \cdot 10^3 \text{ Н} / \text{м}^3$ расчетное давление на грунт $R_3 = 60 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$.

Значение коэффициента бокового расширения $\mu = 0,8$, Значение коэффициента безопасности для грунта по углу внутреннего трения $K_{\Gamma} = 1,1$, а для супеси $K_{\Gamma} = 2,4$.

Определение углов внутреннего трения обратной засыпки:

$$\varphi_0 = \mu \frac{\varphi^H}{k_\Gamma} = 0,8 \frac{21}{1,1} = 18,18^\circ.$$

Значение удельного сцепления грунта обратной засыпки:

$$c_0 = \mu \frac{c^H}{k_\Gamma} = 0,8 \frac{12,5}{2,4} = 4,167 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2.$$

Значение сжимающей силы, воздействующей на грибовидные фундаменты-подножки, = сумме постоянных и временных нормальных сил, действующих на опору П220-2 = расчетной вырывающей силе:

$$N_\epsilon^p = N_c = 98,741 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Нормативная вырывающая сила, воздействующая на фундамент-подножник, должна быть равна сумме постоянных сил, действующих на опору П220-2:

$$N_\epsilon^H = 35,459 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Для промежуточной опоры коэффициент надежности $k_H = 1$.

Расчет по деформациям (на сжатие)

Одно из основных требований расчета это ограничение вертикальной подсадки. должно соблюдаться условие чтобы среднее давление на подошве фундамента не превышало расчетного давления на основание: $\sigma_{CP} \leq R_s$.

Определяем среднее давление по подошве фундамента:

$$\sigma_{CP} = \frac{N_c}{F} + \gamma_3 \cdot h_\phi = \frac{98,741}{2,4^2} + 17 \cdot 2,5 = 86,385 \cdot 10^3 \text{ (Н/м}^2\text{)};$$

$$\sigma_{CP} \leq R_s \text{ или } 86,385 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2 < 366 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \text{ (Н/м}^2\text{)}$$

Расчетные условия для деформации на сжатие должна соблюдаться и вертикальная посадка фундаментов Ф5-4 и находится в пределах допустимого.

Расчет по деформациям (на вырывание)

Находим величину коэффициента условий работы:

$$m = m_{ГР} \cdot m_0 \cdot m_C = 1 \cdot 1,2 \cdot 1 = 1,2$$

где, $m_{ГР} = 1,2$ – коэффициент грунта;

m_0 – коэффициент опоры, зависящий от базы опоры b ;

m_C – коэффициент сочетаний, зависящий от режима работы линии (в нормальном режиме $m_C = 1$).

Величина вырывающая нагрузка, воздействующая на фундамент:

$$m \cdot R_3 \cdot F_o + G_\phi \cdot 9,8 = 1,2 \cdot 60 \cdot 1,2^2 + 1,2 \cdot 9,8 = 115,44 \cdot 10^3 \text{ (Н)}.$$

проводим сравнение нормативную нагрузки с полученной:

$$N_e^H < m \cdot R_3 \cdot F_o + G_\phi \cdot 9,8 \text{ или } 35,459 \text{ Н} \cdot 10^3 < 115,44 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Фундамент марки Ф5-4 не противоречит условиям расчетов по нарушениям форм на вырывание.

По этому, в следствии проведенных проверок мы можем судить о выборе фундамента.

Вычисление фундамента по несущей способности:

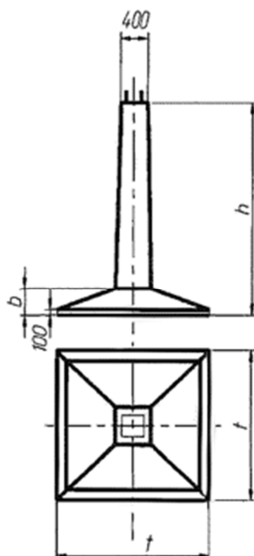


Рисунок 16 – Чертеж фундамента

где, a – величина размера сторон квадрата основания подножника, м;

h_{ϕ} – величина глубины заглубления подножника, м;

a_1 – величина стороны призматического выпирания подножников, м;

ϕ_0 – величина угла трения внутреннего обратной засыпки.

Определяем объем обелиска грибовидного фундамента – под ножника:

$$a_1 = a + 2h_{\phi} \cdot \operatorname{tg} \phi_0 = 2,4 + 2 \cdot 4 \cdot \operatorname{tg} 18,18 = 8,23 \text{ м};$$

$$V_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{6} [(2a_1 + a)a_1 + (2a + a_1)a] = \frac{4}{6} \cdot [(2 \cdot 8,23 + 2,4) \cdot 8,23 + (2 \cdot 2,4 + 8,23) \cdot 2,4] = 123,07 \text{ м}^3.$$

Определим сумму всех площадей поверхностей боковых поверхностей грибовидного фундамента - подножника:

$$\Sigma \omega_{\phi} = 2h_{\phi} (a + a_1) = 2 \cdot 4 \cdot (2,4 + 8,23) = 85,04 \text{ м}^2.$$

после проводим проверку, выполнены ли условия по несущей способности:

$$\begin{aligned} \frac{1}{K_n} (N_{\phi} + 0,9G_{\phi}) &= \frac{1}{K_n} (V_{\phi} \gamma_z + C_0 \cos \phi_0 \cdot \Sigma \omega_{\phi} + 0,9G_{\phi} \cdot 9,8) = \\ &= \frac{1}{1} (11,02 \cdot 17 + 4,167 \cdot \cos 18,18^\circ \cdot 20,75 + 0,9 \cdot 2,4 \cdot 9,8) = 290,308 \cdot 10^3 \text{ Н}. \end{aligned}$$

Сравниваем:

$$N_{\phi}^p \leq \frac{1}{K_n} (N_{\phi} + 0,9G_{\phi}),$$

$98,741 \text{ Н} \cdot 10^3 \leq 290,308 \text{ Н} \cdot 10^3$, из этого следует что выбор сделан верно Ф5-4 не противоречит условиям расчетов по несущей способности.

3.4 Расчет железобетонных грибовидных фундаментов - подножников для анкерной опоры

Найдем основание грибовидного под ножика марки Ф5-2, технические показатели отображены в таблице 15, для анкерной опоры У220-

2 в режиме работы ВЛ. Грунт глинистый с показателем консистенции $J_L = 0,54$ и коэффициентом пористости $e = 0,45$.

Таблица 15 - Технические характеристики фундаментов Ф5-4

Высота фундамента h , м	Глубина заложения h_ϕ , м	Размер стороны квадрата опорной плиты a , м	Масса фундамента G_ϕ , т
3,2	4	2,4x2,4	4,46

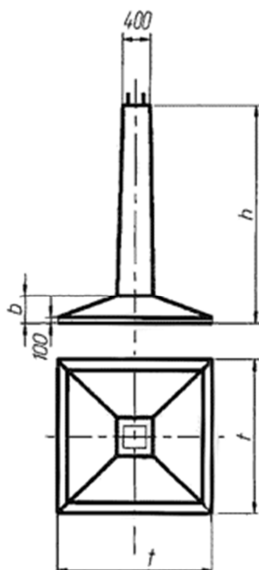


Рисунок 17 – Чертеж фундамента Ф5-4

Сжимающая сила, действующая на фундамент, равна суммированию постоянных и временных нормальных сил, действующих на опору равна расчетной вырывающей нагрузке:

$$N_6^P = N_c = 693,797 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нормальная вырывающая сила равна суммарной постоянной силы, действующих на опору:

$$N_6^H = 229,88 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Для глинистых почв с консистенцией $J_L = 0,54$ и коэффициентом пористости $e = 0,45$:

- величина нормативного значения модуля нарушений форм
 $E = 27000 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$;

- угла внутреннего трения $\varphi_H = 25^\circ$;

- нормативное удельное сцепление грунта $c_H = 12,5 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$.

Давление на почву площадки под ножика, определяется условиями предельных нарушений форм основания в нормальном режиме работы линии для числа модуля $E = 27000 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$ при ширине стороны под ножика $a = 2,4 \text{ м}$ и величина заглубления фундамента $h_\phi = 4 \text{ м}$. Давление на почву у основания подножника фундамента $R_s = 361 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$.

Для промежуточных опор, установленных в глинистый грунт с показателем консистенции с относительным заглублением $h / a = 3,2 / 2,4 = 1,33 \text{ м}$.

Объемным весом грунта засыпки обратной при механическом уплотнении $\gamma_3 = 17 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$ расчетное давление $R_3 = 60 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$.

принимая коэффициенты бокового расширения $\mu = 0,8$ коэффициент безопасности для угла внутреннего трения $k_\Gamma = 1,1$, а для супеси $k_\Gamma = 2,4$.

Угол внутреннего трения обратной засыпки:

$$\varphi_0 = \mu \cdot \frac{\varphi^H}{k_\Gamma} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,1} = 18,18^\circ.$$

сцепление грунта обратной засыпки:

$$C_0 = \mu \cdot \frac{C_H}{k_\Gamma} = 0,8 \cdot \frac{12,5}{2,4} = 4,167 \cdot 10^3 \text{ Н/м}.$$

Для промежуточных опор коэффициент надежности:

$$k_H = 1$$

Расчет на сжатие

Среднее давление на подошву фундаментов:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_c}{F} + \gamma_3 \cdot h_{\phi} = \frac{693,797}{2,4^2} + 17 \cdot 4 = 188,45 \cdot 10^3 \text{ Н/м};$$

$$\sigma_{cp} \leq R_s \text{ или } 188,45 < 361 \cdot 10^3 (\text{Н/м}^2).$$

Условие расчета по деформациям на сжатие соблюдаются, и вертикальная осадка фундамента Ф5-4 находится в допустимых пределах.

Вырывающая нагрузка, действующая на фундамент:

$$m \cdot R_3 \cdot F_0 + G_{\phi} \cdot 9,8 = 1,2 \cdot 60 \cdot 2,4^2 + 4,46 \cdot 9,8 = 458,43 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

где $m=1,2$ – коэффициент грунта;

Сравниваем нормативную нагрузку с полученной:

$$N_B^H = 229,88 < 458,43.$$

Фундамент типа Ф5-2 удовлетворяет условию расчетов по деформациям на вырывание.

Определим полный объем обелиска фундамента–подножника, $a=1,8$ м:

$$a_1 = a + 2 \cdot h_{\phi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 = 2,4 + 2 \cdot 4 \cdot \operatorname{tg}(18,18^\circ) = 10,4;$$

$$V_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{6} [(2 \cdot a_1 + a) \cdot a_1 + (2 \cdot a + a_1) \cdot a] = \frac{4}{6} \cdot [(2 \cdot 2,4 + 10,4) \cdot 10,4 + (2 \cdot 2,4 + 10,4) \cdot 2,4] = 129,7 \text{ м}^3.$$

Определим суммарную площадь поверхности грибовидных фундаментов подножника:

$$\Sigma \omega_{\phi} = 2 \cdot h_{\phi} \cdot (a + a_1) = 2 \cdot 4 \cdot (2,4 + 10,4) = 102,4 \text{ м}^2;$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{K_H} \cdot (N_{\phi} + 0,9 \cdot G_{\phi} \cdot 9,8) &= \frac{1}{K_H} (V_{\phi} \cdot \gamma_3 + C_0 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \Sigma \omega_{\phi} + 0,9 \cdot G_{\phi} \cdot 9,8) = \\ &= \frac{1}{1} \cdot (129,7 \cdot 17 + 3,125 \cdot \cos(13,6^\circ) \cdot 102,4 + 0,9 \cdot 2,9 \cdot 9,8) = 2394,2 \cdot 10^3 \text{ Н}; \end{aligned}$$

$$N_{\phi}^p \leq \frac{1}{K_H} (N_{\phi} + 0,9 G_{\phi} \cdot 9,8).$$

$693,797 < 2394,2 \cdot 10^3 \text{ Н}$, из этого получается, выбранный фундамент удовлетворяет условиям расчетов по несущей способности.

Заключение: фундамент Ф5-4 выбран верно

2 Построение монтажных графиков

Пользуясь данными и результатами расчетов других примеров, для строящейся линии напряжением 220 кВ выполним монтажную таблицу и построим монтажные графики провода для характерных пролетов линии.

При составлении монтажных графиков необходимо учитывать вытяжку провода. Доля вытяжки при монтаже:

$$\nu = 0,05 \cdot \frac{F_A}{F_C} = 0,05 \cdot 6,2 = 0,31;$$

$$F = F_{cm} \cdot \frac{1 + 0,286 \cdot \frac{F_A}{F_C}}{1 + \frac{F_A}{F_C}} = 185 \cdot 10^3 \cdot \frac{1 + 0,286 \cdot 6,2}{1 + 6,2} =$$

$$= 71,26 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$$

где F – модуль не упругости;

$$D = F_{cm} \cdot \frac{1 + 0,19 \cdot \frac{F_A}{F_C}}{1 + \frac{F_A}{F_C}} = 185 \cdot 10^3 \cdot \frac{1 + 0,19 \cdot 6,2}{1 + 6,2} =$$

$$= 55,96 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$$

где D – модуль покоя;

$$F_M = \frac{F}{1 + \left(\frac{F}{D} - 1 \right) \cdot \nu} = \frac{71,26 \cdot 10^3}{1 + \left(\frac{71,26 \cdot 10^3}{55,96 \cdot 10^3} - 1 \right) \cdot 0,31} =$$

$$= 65,69 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2.$$

где F_M – монтажный модуль упругости;

Для монтажных таблиц и построения графиков решаем основное уравнение состояния проводов для приведенного пролета:

$$l_{npв} = 0,9 \cdot l_{заб} = 0,9 \cdot 375 = 337,5 \text{ м.}$$

Для исходных данных, соответствующих режимам минимальной температуры при учете рассчитанных модулей уравнение имеет вид:

$$\sigma_M - \frac{\gamma_{II}^2 F_M l_{npв}^2}{24 \sigma_M^2} = \sigma_{нб} \cdot \frac{F_M}{D} - \frac{\gamma_{нб}^2 F_M l_{npв}^2}{24 \sigma_{нб}^2} + \alpha_{F_M} (t_c - t_M)$$

Случай когда монтажные работы производиться при $t_M = t_{c2} = 0,3$ находим значение A

Подставляем числовые значения:

$$A = \sigma_{нб} \cdot \frac{F_M}{D} - \frac{\gamma_{нб}^2 F_M l_{npв}^2}{24 \sigma_{нб}^2} + \alpha_{F_M} (t_c - t_M)$$

$$A = 135 \cdot \frac{65,69 \cdot 10^3}{55,96 \cdot 10^3} - \frac{0,165^2 \cdot 65,69 \cdot 10^3 \cdot 128,25^2}{24 \cdot 135^2} + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 65,69 \cdot 10^3 \cdot (-5 - 1,1)$$

$$A = 83,528$$

$$B = \frac{\gamma_n^2 F_M l_{npв}^2}{24} = \frac{0,034^2 \cdot 65,69 \cdot 10^3 \cdot 128,25^2}{24} = 52040$$

Если $A > 0$, значит начальное приближение находим по формуле:

$$\sigma_{M0} = 1,02 \sqrt{B^{(2/3)} + A^2} = 1,02 \sqrt{52040^{(2/3)} + 83,528^2} = 93,322 \text{ Н/м}$$

Таблица 16 – Значения рассчитанных монтажных напряжений

t	A	0	1	2
-43	139,139	146,9421	142,0669	141,7312
-40	135,356	143,2188	138,42	138,0868
-35	129,051	137,0298	132,3656	132,0376
-30	122,746	130,8643	126,3454	126,0243
-25	116,441	124,7255	120,3654	120,0533
-20	110,136	118,6178	114,4331	114,1326
-15	103,831	112,5461	108,5572	108,2718
-10	97,526	106,5165	102,7488	102,4824
-5	91,221	100,5368	97,0211	96,77848
0	84,916	94,61623	91,39049	91,17694
5	78,611	88,76677	85,87674	85,69774
10	72,306	83,00341	80,50376	80,36422
15	66,001	77,3454	75,29999	75,20295
20	59,696	71,81764	70,29845	70,24311
25	53,391	66,45265	65,53592	65,51521
30	47,086	61,29317	61,05051	61,04903
35	40,781	56,39565	56,87688	56,87099
39	35,737	52,71547	53,77877	53,74988

Таблица 17 – Показатели расчетанных монтажных стрел провиса

t	f=128,25	f=142,5	f=178,125
-43	0,475727	0,587317	0,917682
-40	0,488094	0,602586	0,94154
-35	0,510139	0,629801	0,984064
-30	0,534174	0,659474	1,030428
-25	0,560465	0,691932	1,081143
-20	0,589324	0,72756	1,136813
-15	0,621117	0,766811	1,198142
-10	0,656276	0,810218	1,265965
-5	0,69531	0,858408	1,341262
0	0,738819	0,912122	1,425191
5	0,787505	0,972228	1,519107
10	0,842185	1,039735	1,624586
15	0,903793	1,115794	1,743429
20	0,973358	1,201676	1,877619
25	1,051941	1,298693	2,029207
30	1,14049	1,408013	2,20002
35	1,239533	1,530287	2,391074
39	1,326067	1,63712	2,558001

Выстроим графики зависимости монтажных стрел провиса при от температуры.

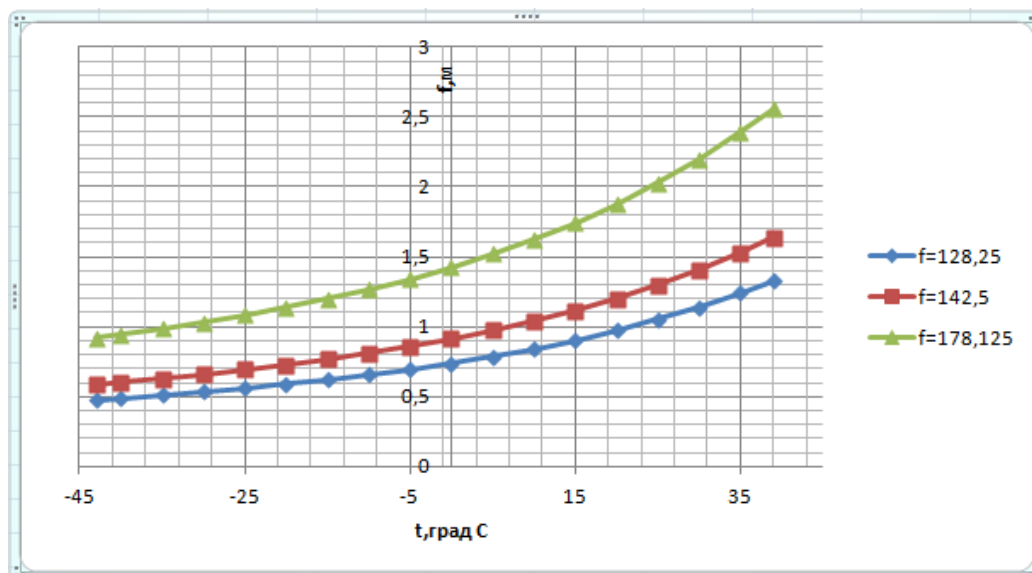


Рисунок 18 – зависимости монтажной стрелы провеса от температуры окружающей среды

5 Выбор гасителей вибрации для КВЛ 220 кВ Нижне-Бурейская – Архара

Грозозащитные тросы и провода ЛЭП подвержены одновременным воздействиям динамических статических и нагрузок. Статические воздействия нагрузок соответствуют состоянию проводов или иных элементов ЛЭП, в том случае когда они не подвержены воздействию ускорения и в них не появляются добавочные динамические напряжения. При воздействии ускорений появляются колебания, которые в иногда могут дать явления резонанса, связанные с резким увеличением напряжений. При этом колебания проводов являются наиболее опасным явлением для элементов линии и могут в ряде случаев являться основным фактором, влияющим на надежность ВЛ.

На ВЛ до 220 кВ включительно, которые находятся в третьем по гололеду районе, и также в районах с частой пляской проводов, нужно использовать комплексные ограничители гололедообразований колебаний и марки ОГК [2].

Ограничители выполняются в виде гибкого элемента из оцинкованного троса двух грузов, установленных на консолях (рис. 19) В середине элемента установлен зажим предназначенный для крепления ограничителя к проводу. Основные параметры отображены в таблице 18.

Монтаж ограничителей повышает способность провода препятствовать закручиванию. Это необходимо исключения скручивание проводов при появлении гололеда, изначально прирастающего со стороны ветра. Гребешок гололеда за счет высокой жесткости проводов на кручение приобретает вытянутую форму в сторону ветрового потока.

Ледяные отложения, с ярко выраженной эксцентричной формой, рассыпаются по мере их роста, или останавливая свой рост (в условиях отрицательных температур), в данном случае останавливается прирост гололедных образований цилиндрической формы.

В целях унифицирования выпускаются ограничители, с грузами весом 1, 3, 5 или 7 кг. Число ограничителей, установленных в пролетах ЛЭП зависит от характеристик провода, сердечника и длины пролета. Для ВЛ до 220 кВ включительно с использованием проводов различных марок применяемый тип ограничителей отображен в таблицах 18 и 19.

Таблица 18– Параметры ограничителя ОГК-7,0-13

Диаметр провода на который устанавливается ограничитель, мм	Марка зажима Для Провода	Диапазон частот для данного типа провода и каната, Гц	Основные параметры ограничителя			
			d, мм	D, мм	R, мм	Масса грузов, кг
21,1-28	АС-240-АС-500	5-35	13	28	100	3,5

Таблица 19– число ограничителей в пролете

Маркировка провода	Маркировка ограничителя	Величина длины пролета в (м) при необходимом числе ограничителей в пролете
		3
АС-400/64	ОГК-7,0-13	220-390

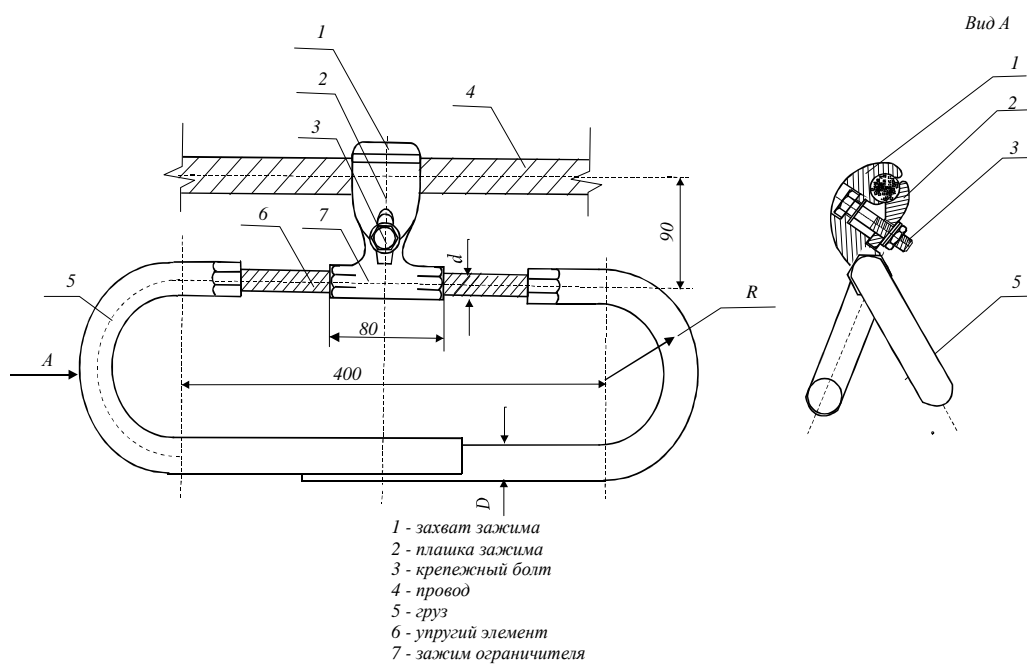


Рисунок 19– Ограничитель колебаний тросов и проводов и гололедообразования

Маркировка ограничителя ОГК-7,0-13:

ОГК – ограничитель колебаний и гололедообразования

3,5 – масса грузика ,кг;

13 – диаметр тросика, мм.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель – данного проекта, проект новой линии 220 кВ «Нижне-Бурейская ГЭС – Архара». Строительство ВЛ 220 кВ ведется для обеспечения энергоснабжения магистрального нефтепровода (МНП) ВСТО, Эльгинского угольного месторождения и космодрома Восточный. а также, повышения энергобезопасности, улучшение качества энергоснабжения потребителей нескольких районов края, повышение инвестиционной привлекательности региона на территории Дальневосточного федерального округа

Задачами раздела являются:

- 1) организация и планирование проектных работ;
- 2) расчет затрат проведения проектных работ;
- 3) технико-экономическое обоснование проекта.

6.1 Количественная оценка научного уровня

Количественная оценка научного уровня может быть произведена путем расчета результативности участников разработки по формуле:

$$K_{\text{ну}} = \sum_{i=1}^n (K_{\text{дуй}} \cdot d_i) , \text{ где}$$

$K_{\text{ну}}$ – коэффициент научного или научно-технического уровня;

$K_{\text{дуй}}$ – коэффициент достигнутого уровня i -го фактора;

d_i – значимость i -го фактора;

n – количество факторов

Калмыкова Е.Ю.

Таблица 6.1 – Оценка научного уровня разработки

Показатели	Значимость показ	Достигнутый уровень	Значение
	d_i	$K_{дyi}$	$K_{дyi} \cdot d_i$
Новизна полученных или предполагаемых результатов	0,2	0,2	0,04
Перспективность использования результатов	0,3	0,3	0,09
Завершенность полученных результатов	0,2	1	0,2
Масштаб возможной реализации полученных результатов	0,3	0,2	0,06
Результативность	$K_{\text{ны}} = \sum (K_{дyi} \cdot d_i) = 0,39$		

Новизна полученных или предполагаемых результатов. В данной исследовательской работе обобщён имеющийся опыт предыдущих исследований по построению моделей на основе программных комплексов для прогнозирования перетоков балансов мощности.

Перспективность использования результатов. Результаты исследовательской работы можно использовать в будущем, для планирования максимально допустимых перетоков мощности в ЭС.

Завершенность полученных результатов. Полученные результаты требуют доработки для рационального использования в дальнейшем, и корректировки под исследуемые объекты энергетики.

Масштаб возможной реализации полученных результатов. Результатами исследовательской работы возможно в дальнейшем руководствоваться при формировании краткосрочных и долгосрочных прогнозов потребления электрической энергии и мощности.

6.2. Планирование выполнения научно-исследовательской работы

Последовательность выполнения научно-исследовательской работы, а также ее содержание зависят от предмета исследования, сложности научно-исследовательской работы, актуальности и новизны темы.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в данном случае в состав группы входят руководитель и инженер, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Для выполнения проектных работ формируется рабочая группа, в состав которой входит руководитель и инженер. По каждому виду запланированных работ, указанных в таблице 1, устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Таблица 6.2- Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Подготовительные работы	2	Утверждение и уяснения	Инженер
	3	Подготовка рабочего места, закупка необходимых материалов и программных	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель проекта
			Инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта
Проведение моделирования и оценка результатов	6	Выбор среды программирования	Инженер
	7	Моделирование схемы	Инженер
	8	Расчет нормального установившегося режима	Инженер
	9	Расчет послеаварийного режима	Инженер
	10	Анализ полученных данных	Инженер
	11	Принятие решений по изменению существующей схемы выдачи мощности	Руководитель проекта
			Инженер
	12	Оценка полученных результатов	Инженер
	13	Составление пояснительной записки	Руководитель проекта
			Инженер
Контроль и координация проекта	14	Проверка пояснительной записки руководителем	Руководитель проекта

Составление пояснительной записки	15	Сдача работы заказчику	Инженер
-----------------------------------	----	------------------------	---------

6.3 Определение трудоемкости и разработка графиков проведения научного исследования

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (3)$$

,где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p . Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i} \quad (4)$$

,где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

\mathcal{C}_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел [12].

Расчет трудоемкости выполнения работ сведем в таблицу 4.3.

Таблица 6.3 - Временные показатели научного исследования проведения

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2		4				3	
Утверждение и уяснения сути задачи		5		6		5,4		5
Подготовка рабочего места, закупка необходимых материалов и программных комплексов		10		12		10,8		11
Выбор направления исследования	2	2	5	5	32	4	3	3
Календарное планирование работ по теме	2		2		2	2,8	2	

Продолжение Таблица 6.3

Выбор среды программирования								2
Моделирование схемы в ПК Mustang								13
Расчет нормально установленного режима								9
Расчет послеаварийного режима								10
Анализ полученных данных								10
Принятие решений по изменению существующей схемы выдачи мощности							3	3
Оценка полученных результатов		10		11		10,4		10
Составление пояснительной записки	4	8	6	10	5	10	5	
Проверка пояснительной записки руководителем	6		8		6,8		7	
Сдача работы заказчику		8		10		8,8		
Суммарное количество рабочих дней	Руководитель проекта				23			
	Инженер				95			

На основе Таблицы

6.3 строится календарный план-график. График строится для

максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени.

Инженер - 

Руководитель - 

Название работы	Февраль			Март			Апрель			Май		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Составление и утверждение технического задания	■											
Утверждение и уяснения сути задачи		■										
Подготовка рабочего места, закупка необходимых материалов			■									
Выбор направления исследований				■								
Календарное планирование работ по теме					■							
Выбор среды программирования						■						
Моделирование схемы в ПК Mustang							■					
Расчет нормального установившегося режима								■				
Расчет послеаварийного режима									■			
Анализ полученных данных										■		
Принятие решений по изменению существующей схемы выдачи мощности											■	
Оценка полученных результатов												■
Оценка полученных результатов прогноза потребления												■
Контроль качества выполнения проекта												■
Составление пояснительной записки												■

Рисунок 20 – Календарный план-график проведения НТИ

6.4 Смета научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Рассчитанные затраты будут отражать минимальную величину стоимости НИР.

Смета стоимость состоит из затрат на

- Материальные затраты НТИ
- Затраты по заработной плате
- Отчисления во внебюджетные фонды
- Прочие расходы
- Амортизация
- Накладные расходы
- Себестоимость проекта
- Прибыль, руб.
- Цена проекта, руб.

Расчет материальных затрат НТИ

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п.

В итоге материальные затраты составили 1480 рублей.

– Амортизационные отчисления

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Расчет амортизации проводился следующим образом:

$$A = (H_A * I) / 12 * m \quad (5)$$

,где I– итоговая стоимость оборудования в тыс.руб.;

HA– норма амортизации;

t – время использования в месяцах.

Норма амортизации находится по формуле:

$$O_A = \frac{1}{n} \quad (6)$$

,где n – срок полезного использования.

Таблица 6.5 – Затраты на оборудование

№	Наименование	Кол-в оед иниц	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общаясто имость ,тыс. руб.	Срокслужбы
1	Компьютер ная система	1	91	91	3
2	Программно е	1	374	374	3
Общая стоимость оборудования, тыс.руб.					465
Амортизация, тыс.руб.					40,67

6.5 Оплата труда

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата научных и инженерно-технических работников.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = (З_{осн} + З_{доп}) \cdot K_{рн} \quad (7)$$

,где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата;

$K_{рн}$ – районный коэффициент (для Томска равен 1,3)

Для инженера $З_{доп}$ принимается на уровне 8% от основной заработной платы, для руководителя – 16%.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{мес} \cdot t_{мес} \quad (8)$$

,где $t_{мес}$ – затраченное время на работу сотрудником в месяцах (отношение всех отработанных дней к 21 рабочему дню в месяце);

$З_{мес}$ – заработная плата работника за один месяц, руб.

Зарплата за один месяц рассчитывается по формуле:

$$З_{мес} = З_{оклад} \cdot З_{доп} \cdot K_{РН} \quad (9)$$

,где $З_{оклад}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$K_{РН}$ – районный коэффициент (для Томска равен 1,3).

Расчет сведен в таблицу 6.6

Таблица 6.6 – Расчет заработной платы, за период проведения НИР

Исполнитель	З _{окл} ,руб.	З _{мес} ,руб.	З _{осн} ,руб.	З _{доп} ,руб.	ΣЗ _{зп} ,руб.
Руководитель проекта	25000	37700	41290	5200	155616
Инженер	18000	25272	114326	1872	

6.6 Страховые взносы во внебюджетные фонды-(30%)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (10)$$

,где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и другие).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта

1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, введена пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 6.7 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	$З_{зп}$, руб,	$З_{внеб}$, руб
Руководитель проекта	41290	11190
Инженер	114326	30982
Итого		42172

6.7 Прочие расходы

Прочие расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

$$З_{пр} = (З_M + З_A + З_{зп} + З_{внеб}) \cdot k_{нр} \quad (11)$$

,где $З_{мз}$ – материальные затраты;

$З_A$ – затраты на амортизацию;

$З_{зп}$ – заработная плата работников;

$З_{внеб}$ – отчисления во внебюджетные фонды;

$k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий неучтенные расходы. Величина коэффициента неучтенных расходов берется в размере 10%.

$$З_{пр} = (40,67 + 6588 + 155616 + 42172) \cdot 0,1 = 20844,30 \text{ руб.}$$

6.8 Накладные расходы

Затраты на накладные расходы рассчитываются по формуле:

$$З_{НАКЛ} = \sum З_{ОСН} \cdot k_{НР} \quad (12)$$

,где $k_{НР}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (200-400% от заработной платы).

Величину коэффициента накладных расходов примем в размере 300%.

$$З_{накл}=155616 \cdot 3=466848 \text{ руб.}$$

6.9 Расчет стоимости НТИ

Рассчитываем себестоимость проекта (С).

$$\begin{aligned} З_{себ} &= З_{мат} + З_{ам.комп.техн} + З_{зар.плата} + З_{соц.отч} + З_{накл.расх} + З_{прочие} = \\ &= 1480 + 4125 + 203498 + 53251 + 554928 + 26482 = 843762 \text{ рублей.} \end{aligned}$$

Тогда прибыль составит

$$\Pi = З_{себ} \cdot K_{ну} = 693290 \cdot 0,39 = 270383 \text{ рублей.}$$

Итого, все статьи бюджета сведем в таблицу 6.8.

Таблица 6.8 - Расчет стоимости НТИ

Наименование статьи	Затраты, руб.	Доля в себестоимости,
Материальные затраты НТИ	1480	0,21
Затраты по заработной плате	6588	0,95
Отчисления во внебюджетные	155616	22,45
Прочие расходы	42172	6,08
Амортизация	20586	2,97
Накладные расходы	466848	67,34
Себестоимость проекта	693290	100
Прибыль, руб.	270983	
Цена проекта, руб.	963673	

Цена проекта определяется как сумма себестоимости и прибыли:

$$Ц = С + \Pi = 693290 + 270383 = 963673 \text{ рублей.}$$

Вывод: Результатом данной работы является СВМ, которая может быть использована на предприятии как для проведения дальнейших научно-исследовательских работ, с целью более подробного описания влияния отдельных параметров на перетоки мощности в ЭС, так и для использования данной электронной модели с целью осуществления прогнозирования возможных перетоков мощности, ввиду изменения состава оборудования СВМ.

6.10 Предварительный расчёт капиталовложений на оборудование и строительно-монтажные работы

Целью является расчет капитальных вложений на проект по строительству линий электропередач 220 кВ Нижне-Бурейская-Архара. Капитальные вложения K включают затраты на основные фонды и оборотные средства.

Основные фонды включают стоимость оборудования, затраты на установку, монтаж, наладку и пробный пуск оборудования и аппаратуры, затраты на транспортировку.

При расчете затрат на оборудование, строительно-монтажные работы и т.д. учитывались существующие цены на март 2016 года. Под строительно-монтажными работами понимаются такие работы, в процессе которых будет осуществляться строительство распределительных сетей, необходимых для транспортировки электрической энергии от источника питания до ПС Архара конечного потребителя.

Таблица 6.9 – Капиталовложения на оборудование

Наименования оборудования	Количество, шт. или км.	Цена за 1 ед. с НДС	Производитель, поставщик	Сумма млн. руб.
Промежуточная двухцепная опора ВЛ-220кВ				
П-220-2(шт)	146	887000	«Метако» ЗАО Домодедовский	56,50
Анкерноугловая опора ВЛ-220 кВ				
У 220-2+9(шт)	4	1214700	ООО «ЗМК СИБИРИ»	4,86
У 220-2+5(шт)	8	1097400	ООО «ЗМК СИБИРИ»	8,78
У 220-2(шт)	6	898863	ООО «ЗМК СИБИРИ»	5,39
Изоляторы и арматура				
ЛК-120-220(шт)	1092	8334	ООО ПО «РосЭнергоРесурс»	9,10
СК-12-1А(шт)	1005	371	ООО ПО «РосЭнергоРесурс»	0,37
СР-12-16(шт)	984	183,42	ООО ПО «РосЭнергоРесурс»	0,18
У2К-7-6(шт)	984	384	ООО ПО «РосЭнергоРесурс»	0,36
ПР-7-6(шт)	984	327,98	ООО ПО «РосЭнергоРесурс»	0,30
НЗ-2-7(шт)	984	399	ООО ПО «РосЭнергоРесурс»	0,33
ОГК-7,0-13 (шт)	1968	1515	ООО «ШаттлЭнерго»	2,98
Фундаменты				
Ф5-2	656	49182	ООО Завод «ЖБИ»	0,59
Провода и тросы				
АС400/64 (км)	324	837325	ЭКС «Электрокомплект сервис»	111,72
ТК-70(км)	108	54086	ООО «УралМетизЭнерго»	5,84
Итого				366,50

Таблица 6.10 - Расчет строительно-монтажных работ

Наименования вида работ	Единица измерения	Норматив трудозатрат, чел/час					Количество	Сумма тыс. руб.
			Размер вознаграждения за выслугу лет	Тарифная ставка, руб./час	Базовый размер ежемесячной премии	Сдельная единичная расценка, руб.		
Раздел 1. Строительство ВЛ-220 кВ								
Установка промежуточной опоры	1 штука	67,02	1,15	123,59	1,45	7625,19	146	112357,98
Установка анкерной опоры	1 штука	95,6	1,15	123,59	1,45	9273,88	18	17593,28
Подвеска провода А/С 400/64	1 штука	93,38	1,15	123,59	1,45	19344,35	984	19036,57
Подвеска грозотроса ТК-70	1 штука	32,01	1,15	123,59	1,45	6656,38	334	2224,38
Монтаж фундамента Ф5-4	1 штука	7,33	1,15	123,59	1,45	1703,92	656	1126,34
Монтаж подвесных изоляторов	1 гирлянда	7,23	1,15	123,59	1,45	1503,84	984	1483,85
Огрунтовка металлических поверхностей за один разгрунтовкой ГФ-021	100м	7,3	1,15	123,59	1,45	1618,74	200	326,57
Окраска металлических огрунтованных поверхностей эмалью ПФ-115	100м	5,2	1,15	123,59	1,45	1083,67	200	226,35
Устройство конура заземления опоры	1штук	8,28	1,15	123,59	1,45	1155,49	164	25,50
Итого						255004,36		

В таблице 4.7 приведена смета затрат на оборудование и строительно-монтажные работы, которые составляют 50% от стоимости оборудования.

Таблица 4.7 – Смета затрат на оборудование и строительно-монтажные работы

Наименование строительства	Стоимость оборудования, тыс.руб	Строительно-монтажные работы, тыс.руб	Итого, тыс.руб.
Двухцепная КВЛ-220 кВ	366498,23	183249,12	549747.35

Таким образом, капитальные затраты составляют:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{обор.}} + K_{\text{ст.м}} + K_{\text{сз}} = 549747348,375 + 25500,154 = 575247502,375 \text{ руб.}$$

Годовые эксплуатационные издержки определяются по формуле (4.7):

$$I_{\text{э}} = I_{\text{ам}} + I_{\text{об}} + I_{\text{пот}}, \quad (4.7)$$

где $I_{\text{э}}$ – годовые эксплуатационные издержки, тыс.руб.;

$I_{\text{ам}}$ – ежегодные амортизационные отчисления, тыс. руб.;

$I_{\text{об}}$ – издержки на текущую эксплуатацию, ремонт сетей и электрооборудования, тыс. руб.;

$I_{\text{пот}}$ – издержки от стоимости потерь электроэнергии в сетях и оборудовании, тыс. руб.

Ежегодные амортизационные отчисления определяются по формуле (4.8):

$$I_{\text{ам}} = P_{\text{а}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (4.8)$$

где $P_{\text{а}}$ – норма ежегодных амортизационных отчислений, %,

$K_{\text{пр}}$ – капитальные затраты, тыс.руб.

Значение $P_{\text{а}}$ зависит от срока полезного использования оборудования.

Срок полезного использования ВЛ-220кВ составляет 15 лет, тогда норма ежегодных амортизационных вычислений:

$$P_{\text{а}} = \frac{1}{15} \cdot 100\% = 6,7\%.$$

Ежегодные амортизационные отчисления:

$$I_{\text{ам}} = 0,067 \cdot 335899,793 = 22505,286 \text{ тыс.руб.}$$

Годовые расходы на обслуживание и текущий ремонт электрооборудования включают зарплату ремонтного и обслуживающего персонала и затраты на материалы необходимые для ремонта и обслуживания электрооборудования.

Издержки на текущую эксплуатацию, ремонт сетей и электрооборудования определяется по выражению(4.9):

$$I_{\text{об}} = P_{\text{э}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (4.9)$$

где $P_{\text{э}}$ – норма отчислений на текущий ремонт и обслуживание, %.

Норма отчислений на текущий ремонт и обслуживание составляет 4%, тогда издержки на текущую эксплуатацию, ремонт сетей и электрооборудование равны:

$$I_{\text{об}} = 0,04 \cdot 335899,793 = 13435,99 \text{ тыс.руб.}$$

Отчисления на амортизацию включают издержки на капитальный ремонт и на накопление средств, необходимых для замены (реновации) изношенного и морально устаревшего оборудования. Отчисления на амортизацию тем выше, чем меньше срок службы оборудования. Отчисления на обслуживание предназначены для поддержания оборудования в рабочем состоянии. Для предотвращения повреждений все элементы сети подвергаются периодическим осмотрам и профилактическим испытаниям. Эти мероприятия финансируются из отчислений на текущий ремонт.

Стоимость потерь электроэнергии определяется по формуле (4.10):

$$I_{\text{пот}} = \Delta P \cdot \tau, \quad (4.10)$$

где ΔP – потери активной мощности, кВт;

τ – удельная стоимость потерь электроэнергии, руб./кВтч, составляет 0,88, руб./кВтч.

Планируемое наибольшее потребление электроэнергии за год рассчитывается по выражению(4.11):

$$\mathcal{E}_{\max} = P_{\max} \cdot T_{\Gamma}, \quad (4.11)$$

где P_{\max} – наибольшая активная мощность, потребляемая нагрузкой, МВт;

T_{Γ} – количество часов в году, ч, составляет 8760 ч.

Планируемое наибольшее потребление электроэнергии за год:

$$\mathcal{E}_{\max} = 172000 \cdot 8760 \cdot 0,6 = 904032 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Согласно стандарта ОАО МРСК потери в электрических сетях составляют 7% от потребленной электроэнергии:

$$\Delta P = 904032000 \cdot 0,07 = 63282240 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость потерь электроэнергии по формуле (4.10):

$$I_{\text{пот}} = 63282240 \cdot 0,88 = 55688,37 \text{ тыс.руб.}$$

Годовые эксплуатационные издержки по выражению (4.7) составляют:

$$I_{\text{э}} = 22505,286 + 13435,793 + 55688,317 = 91629,39 \text{ тыс.руб.}$$

Срок окупаемости проекта рассчитывается по следующей формуле (4.12):

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{обор.}} + K_{\text{ст.м}} + K_{\text{проект}}}{P - I_{\text{э}} - I_{\text{н}}}, \quad (4.12)$$

где P – прибыль, тыс.руб.

Прибыль проекта определятся по выражению (4.13):

$$P = \mathcal{E}_{\max} \cdot \tau - I_{\text{э}}, \quad (4.13)$$

где τ – стоимость 1кВт·ч электроэнергии, руб./кВт·ч, составляет 1,32 руб. /кВт·ч.

Прибыль проекта составляет:

$$P = 904032000 \cdot (1,32 - 0,88) - 91629,396 = 306144,684 \text{ тыс.руб.}$$

Срок окупаемости проекта равен: $T_{\text{ок}} = \frac{575247,502}{306144,684} = 1,879 \text{ лет} = 1 \text{ год и } 10 \text{ мес.}$